BUKU AJAR

ILMU KAYU

ANDI DETTI YUNIANTI, SYAHIDAH, AGUSSALIM, SUHASMAN

FAKULTAS KEHUTANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN

http://unhas.ac.id/fahutan/

BUKU AJAR

ILMU KAYU

Andi Detti Yunianti

Syahidah

Agussalim

Suhasman

Penerbit:

Fakultas Kehutanan
Universitas Hasanuddin

Buku Ajar Ilmu Kayu

Penulis

Andi Detti Yunianti, Syahidah, Agussalim, Suhasman

Penerbit

Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin

Anggota IKAPI No. 023/Anggota Luar Biasa/SSL/2019

Alamat Redaksi & Editorial

Kampus Tamalanrea, Jl. Perintis Kemerdekaan Km 10. Makassar, 90245 Telp. (0411) 589592, Fax. (0411) 589592

www.forestry.unhas.ac.id

Hak cipta dilindungi undang-undang All right reserved

Cetakan I : Agustus 2020

ISBN: 978-623-94156-4-8

KATA PENGANTAR DEKAN

Pertama-tama sebagai Dekan Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin, terlebih dahulu saya ingin mengajak semua unsur dalam jajaran Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin untuk senantiasa memanjatkan puji dan syukur kepada Allah SWT atas limpahan rahmat-Nya sehingga proses penyusunan Buku Ajar ini akhirnya selesai.

Penyusunan Buku Ajar ini merupakan bentuk kontribusi dalam mendukung proses pembelajaran mata kuliah di Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin khususnya dan diharapkan juga dapat menjadi bahan pembelajaran bagi Fakultas Kehutanan lainnya di luar Universitas Hasanuddin. Buku ini menggambarkan berbagai hal terkait materi pembelajaran matakuliah Ilmu Kayu, sehingga buku ajar ini secara detail dapat menjadi panduan dalam proses pembelajaran yang sifatnya teoritik maupun aplikatif.

Akhirnya, kami menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada semua pihak atas kerjasama dan dedikasinya untuk penyelesaian penyusunan buku ini. Semoga buku ini memberikan manfaat yang optimal dan menjadi acuan atau referensi dalam pengembangan matakuliah di bidang kehutanan yang dapat mendukung pembangunan kehutanan di Indonesia.

Makassar, Agustus 2020

Dekan,

Dr. A. Mujetahid, S.Hut., MP.

KATA PENGANTAR

Saat ini, penggunaan kayu dituntut semakin efisien dikarenakan makin terbatasnya suplai kayu oleh hutan alam akibat tata kelola hutan yang kurang baik di masa lampau. Hutan alam tidak lagi mampu menghasilkan kayu-kayu dengan kualitas dan kuantitas yang baik. Oleh sebab itu, hutan tanaman banyak dibangun untuk mampu mengatasi persoalan jumlah kayu yang menipis. Namun, kayu-kayu yang dihasilkan dari hutan tanaman tidak mampu memberikan kualitas yang baik. Sehingga, untuk dapat menggunakan kayu secara tepat, maka perlu untuk mengatahui karakteristik dasar dari kayu-kayu tersebut.

Buku ini merupakan bahan bacaan bagi mereka yang ingin mempelajari sifat-sifat dasar kayu, terutama bagi mahasiswa yang sedang mengambil mata kuliah ilmu kayu, seperti sifat anatomi kayu, kimia kayu, fisis dan mekanik kayu serta hubungan sifat-sifat dasar tersebut dalam penggunaannya sebagai bahan baku industri.

Buku ini dibagi menjadi 4 bagian, bagian pertama (bab 1-3) adalah bagian struktur anatomi kayu di mana akan diuraikan seperti apa tumbuhan penghasil kayu itu, ciri makroskopis, sel-sel penyusun kayu daun lebar dan sel-sel penyusun kayu daun jarum. Bagian kedua (bab 4) adalah bagian kimia kayu yang akan menjelaskan komponen kimia penyusun kayu, atau lebih spesifik dinding sel kayu. Perbedaan jumlah dan proporsi kompenen kimia dinding sel akan berakibat pada sifat-sifat fisik dan mekanis kayu yang berbeda, dan juga penggunaannya. Bagian ketiga (bab 5-7) adalah sifat fisik kayu yang menjelaskan bagaimana pergerakan air di dalam kayu, akibat yang ditimbulkan oleh keberadaan air tersebut, dan bagaimana mengukurnya, termasuk pengaruhnya terhadap perubahan dimensi kayu. Selain itu, berat jenis dan kerapatan juga akan dipelajari di mana sifat ini sangat berkaitan erat dengan kekuatan kayu. Pada bagian terakhir (bab 8) adalah sifat mekanik kayu yang menerangkan kekuatan yang mampu dipikul oleh kayu dalam bentuk tegangan tarik, tekan, atau geser, serta bagaimana mengukur kekuatan kayu tersebut.

Meskipun demikian, penulis menyadari akan ada kelemahan dari buku ini. Olehnya itu dengan kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk menyempurnakan buku ini. Harapan penulis, buku ini dapat membantu pembaca untuk dapat mengetahui atau memahami sifat-sifat kayu sehingga dapat menggunakan kayu dengan tepat.

Penulis,

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR DEKAN iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI v
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR ix
BAB 1. TUMBUHAN BERKAYU 1
1.1 Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK1) 1
1.2 Sub-CMPK 1
1.3 Strategi/Metode/Media Pembelajaran 1
1.4 Indikator penilaian 1
1.5 Bobot penilaian 1
1.6 Materi Pembelajaran 1
1.6.1 Pengertian Kayu 1
1.6.2 Pembentukan Kayu 3
1.7 Tugas/Kasus 8
1.8 Bahan Bacaan Pengayaan 9
1.9 Daftar Pustaka 9
BAB 2. CIRI MAKROSKOPIS KAYU 10
2.1 Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK1) 10
2.2 Sub-CMPK 10
2.3 Strategi/Metode/media pembelajaran 10
2.4 Indikator penilaian 10
2.5 Bobot penilaian 10
2.6 Materi Pembelajaran 10
2.6.1 CIRI MAKROSKOPIS KAYU 10
2.7 Tugas/Kasus : 18
2.8 Bahan Bacaan Pengayaan 18
2.9 Daftar Pustaka 18
BAB 3. KAYU DAUN LEBAR DAN DAUN JARUM 19
3.1. Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK1) 19
3.2. Sub-CMPK 19
3.3. Strategi/Metode/media pembelajaran 19
3.4. Indikator penilaian 19
3.5. Bobot penilaian 19
3.6. Materi Pembelajaran 19
3.6.1. Sel-sel Penyusun Kayu Daun Lebar dan Kayu Daun Jarum 19
BAB 4. KOMPONEN KIMIA KAYU 25

4.1 Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK 2) 25
4.2 Sub-CPMK 25
4.3 Strategi/Metode/Media Pembelajaran 25
4.4 Indikator penilaian 25
4.5 Bobot Penilaian 25
4.6 Materi Pembelajaran 25
4.6.1 Selulosa 26
4.6.2 Hemiselulosa 27
4.6.3 Lignin 28
4.6.4 Zat Ekstraktif 30
4.7 Tugas/Kasus: 43
4.8 Bahan Bacaan Pengayaan 44
4.9 Daftar Pustaka 44

BAB 5. KADAR AIR KAYU 46
5.1 Sub-Capaian Pembelajaran Mata Kuliah 46
5.2 Skenario Pembelajaran 46
5.3 Materi Pembelajaran 46
5.3.1 Pendahuluan 46
5.3.2 Air dalam Kayu 47
5.3.3 Kesimpulan 52
5.4 Penugasan 52
5.5 Strategi dalam merespon penugasan, tips dan kisi-kisi 53
5.6 Daftar Pustaka 53

BAB 6. PERUBAHAN DIMENSI KAYU 54
6.1 Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK1) 54
6.2 Sub-CMPK 54
6.3 Strategi/Metode/media pembelajaran 54
6.4 Indikator penilaian 54
6.5 Bobot penilaian 54
6.6 Materi Pembelajaran 54
6.6.1 Perubahan Dimensi Kayu 54
6.6.2 Faktor-faktor yg mempengaruhi penyusutan dan pengembangan 57
6.7 Tugas/Kasus : 59
6.8 Bahan Bacaan Pengayaan 59
6.9 Daftar Pustaka 59

BAB 7. BERAT JENIS DAN KERAPATAN KAYU 60
7.1 Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK1) 60
7.2 Sub-CMPK 60
7.3 Strategi/Metode/media pembelajaran 60
7.4 Indikator penilaian 60
7.5 Bobot penilaian 60
7.6 Materi Pembelajaran 60

7.6.1 Berat Jenis dan Kerapatan Kayu 60
7.6.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi berat jenis dan kerapatan kayu 61
7.6.3 Metode Penentuan Berat Jenis dan Kerapatan Kayu 63
7.7 Tugas/Kasus : 64
7.8 Bahan Bacaan Pengayaan 64
7.9 Daftar Pustaka 65
BAB 8. SIFAT MEKANIS KAYU 66
8.1 Sub-Capaian Pembelajaran Mata Kuliah 66
8.2 Skenario Pembelajaran 66
8.3 Materi 66
8.3.1 Pendahuluan 66
8.3.2 Konsep Tegangan dan Regangan 67
8.3.3 Macam-macam Sifat Mekanis 74
8.3.4 Sifat dasar kayu dan factor lain yang mempengaruhi kekuatan kayu 79
8.4 Penugasan 81
8.5 Strategi dalam merespon penugasan 82
8.6 Daftar Pustaka 82

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penggolongan kelas berat kayu 12

Tabel 3.1. Sel-sel penyusun kayu daun lebar 21

Tabel 3.2. Sel-sel penyusun kayu daun jarum 23

Tabel 5.1. Kadar air kesetimbangan pada kondisi suhu dan kelembaban 48

Tabel 5.2. Rata-rata kadar air kayu segar beberapa spesies 50

Tabel 5.3. Kadar air titik jenuh serat dari 5 (lima) jenis kayu Indonesia 51

Tabel 7.1. Kelas Berat Kayu 62

Tabel 7.2. Kelas Kuat Kayu 63

Tabel 7.3. Kwalitas Arang Kayu berdasarkan Berat Jenis Kayu 63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Pembelahan sel unsur longitudinal kayu daun lebar 3

Gambar 1.2. Penampang melintang kayu jati, (A) kayu teras, (B) kayu gubal..... 4

Gambar 1.3. Pola sifat kayu juvenile dan kayu dewasa 5

Gambar 1.4. Juvenil wood pada loblolly pine (Pinus taeda) (Zobel & Sprague, 1998)..... 6

Gambar 1.5. Pembentukan kayu reaksi 7

Gambar 1.6. Penampang melintang pohon (CW) compression wood/kayu tekan,(OW) opposite wood, (SW) side wood (Yeh, 2005) 7

Gambar 1.7. Kayu tarik pada kayu daun lebar 8

Gambar 1.8. Lapisan gelatinous pada Populus sp yang menyusut pada bidang axial akibat proses pengeringan. (Barnett and Jeronimidis, 2003) 8

Gambar 1.9. (a) Serat pada bagian opposite wood kayu tarik; (b) G-fibres with an additional thick layer in the side wood (Pilate et all, 2004) 8

Gambar 2.1. Perbedaan warna kayu teras dan kayu gubal..... 11

Gambar 2.2. Lingkaran tahun terputus (semu) dan lingkaran tahun normal..... 15

Gambar 2.3. Jari-jari pada penampang tangential dan radial (Illic, 2019)..... 15

Gambar 2.4. Jari-jari pada penampang melintang (Illic, 2019) 15

Gambar 2.5. Tipe parenkim apotrakeal 16

Gambar 2.6. Tipe parenkim paratrakeal 16

Gambar 2.7. Sebaran pori tata lingkar dan tata baur (Illic, 2019)..... 17

Gambar 2.8. Arah serat: (a) Lurus, (b) Miring, dan (c) Terpadu. 17

Gambar 3.1. Sel-sel penyusun kayu daun lebar (Walker, 2006)..... 21

Gambar 3.2. Sel-sel penyusun kayu daun lebar (Panshin & de Zeeuw, 1980) 21

Gambar 3.3. Pembuluh kayu daun lebar 22

Gambar 3.4. Serat/serabut kayu daun lebar..... 22

Gambar 3.5. Sel-sel penyusun kayu daun jarum (Walker, 2006) 23

Gambar 3.6. Sketsa sel-sel penyusun kayu daun jarum (Panshin and de Zeeuw, 1980)..... 23

Gambar 3.7. Trakeid kayu daun jarum..... 24

Gambar 4.1. Struktur Kimia Selulosa 27

Gambar 4.2. Struktur kimia unit-unit gula hemiselulosa 28

Gambar 4.3. Unit Dasar Pembentuk Lignin 29
Gambar 4.4. Struktur Lignan 32
Gambar 4.5. Struktur Fenil Propana Struktur Dasar Flavonoid 33
Gambar 4.6. Struktur Isoflavonoid dan Neo-flavonoid 34
Gambar 4.7. Struktur Stilbene 34
Gambar 5.1. Ilustrasi letak air pada sebuah sel yang disebut air terikat dan air bebas. 48
Gambar 5.2. Data curah hujan dalam setahun 53
Gambar 6.1. Hubungan antara air dengan molekul-molekul selulosa 55
Gambar 6.2. Arah penyusutan kayu 56
Gambar 6.3. Hubungan Penyusutan dengan Kadar Air 57
Gambar 6.4. Hubungan Penyusutan dengan Perubahan Kadar Air 57
Gambar 6.5. Hubungan Penyusutan dan Kerapatan 58
Gambar 6.6. Struktur Anatomi Kayu Daun Lebar dan Kayu Daun Jarum 58
Gambar 6.7. Hubungan antara Penyusutan dengan Ekstraktif Kayu 59
Gambar 8.1. Gambar balok tekan sejajar serat (Bowyer *et al.* 2003) 68
Gambar 8.2. Diagram hubungan regangan dan tegangan dalam uji tekan sejajar serat (Bowyer *et al.* 2003) 70
Gambar 8.3. Tegangan dan tekanan pada balok lentur (Bowyer *et al.* 2003) 71
Gambar 8.4. Tiga sumbu simetri kayu (Bowyer *et al.* 2003) 73
Gambar 8.5. Bentuk pengujian kekuatan tarik sejajar serat (kiri) dan tegak lurus serat (kanan) (ASTM, 2000) 74
Gambar 8.6. Bentuk pengujian kekuatan tekan sejajar serat (kiri) dan tegak lurus serat (kanan) (ASTM, 2000) 75
Gambar 8.7. Bentuk pengujian kekuatan geser sejajar serat (ASTM, 2000) 76
Gambar 8.8. Bentuk pengujian lentur (ASTM, 2000) 76
Gambar 8.9. Bentuk pengujian belah (ASTM, 2000) 77
Gambar 8.10. Bentuk pengujian keuletan (ASTM, 2000) 78
Gambar 8.11. Ilustrasi pengujian kekerasan kayu (ASTM, 2000) 78
Gambar 8.12. Hubungan kekuatan kayu dengan kadar air 79
Gambar 8.13. Kemiringan serat 1 inci dalam 8 inci 80
Gambar 8.14. Kurva hubungan beban dan defleksi pada pengujian lentur 81
Gambar 8.15. Kurva hubungan beban dan defleksi pada pengujian lentur 82

BAB 1. TUMBUHAN BERKAYU

1.1 Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK1)

CPMK 1 "Mampu memahami secara utuh kayu sebagai produk hasil hutan". CPMK 1 ini mendukung Capaian Pembelajaran Lulusan 2 (CPL2) dari Program Studi Kehutanan yaitu "Mampu menginternalisasi etika professional rimbawan antara lain integritas dan bertanggung jawab, peduli terhadap lingkungan, serta sikap kepemimpinan yang demokratis"

1.2 Sub-CMPK

Sub-CMPK1 Mampu mengidentifikasi perbedaan tumbuhan berkayu dengan tidak berkayu; jenis-jenis tumbuhan berkayu;

1.3 Strategi/Metode/Media Pembelajaran

Strategi atau metode pembelajaran yang digunakan berupa metode luring dan metode daring. Metode luring yaitu kuliah, praktikum dan diskusi kelompok, sementara metode daring adalah mencari materi pembelajaran secara online, mendownload materi pembelajaran dari SIKOLA serta mengupload tugas yang diberikan kSIKOLA.

1.4 Indikator penilaian

1. Kemampuan mendefenisikan kayu dengan benar
2. Kemampuan mengidentifikasi perbedaan tumbuhan berkayu dengan tidak berkayu dan mengenal jenis-jenis tumbuhan
3. Kemampuan membedakan tumbuhan kayu daun jarum dan kayu daun lebar.

1.5 Bobot penilaian

Bobot penilaian pada materi pada minggu pertama sampai dengan tiga, sebesar 20 %.

1.6 Materi Pembelajaran

1.6.1 Pengertian Kayu

Kayu merupakan salah satu sumber daya alam yang dapat diperbaharui dan memiliki peran yang sangat luas bagi kehidupan manusia. Peran kayu dalam berbagai bagian kehidupan manusia menimbulkan banyak pengertian mengenai apakah itu

kayu? Pengertian secara umum yaitu hasil dari sebuah pohon, atau sebagai bahan bangunan, sedangkan pengertian secara khusus yaitu hasil metabolisme yang tersusun oleh berbagai macam sel dan komponen kimia.

Apapun pengertian dari sebuah kayu, yang terpenting adalah bagaimana menggunakan bahan tersebut, dalam hal ini kayu secara optimal dan efisien. Penggunaan kayu akan memberikan hasil yang optimal jika sebelum menggunakan kita mengetahui karakteristiknya.

Sejalan dengan pertumbuhan pohon akan muncul berbagai macam karakteristik yang mempengaruhi kualitas kayu. Sehingga, pengetahuan bagaimana perkembangan sel menjadi sebuah pohon yang tumbuh dalam sebuah tegakan dan sifat-sifat yang dihasilkan perlu diketahui oleh seorang sarjana kehutanan.

Ada banyak defenisi tentang kayu yang telah diungkapkan oleh berbagai kalangan mulai dari skala makro hingga molekuler, tergantung mereka melihat kayu dari sisi mana. Oleh karena itu, penulis mencoba mendefenisikan sendiri, kayu adalah materi yang berasal dari perkembangan/pembelahan kambium yang terdiri atas berbagai tipe dan fungsi sel yang berbeda-beda. Kambium adalah lapisan tipis yang menyelimuti daerah tumbuh sebuah batang pohon. Setiap awal pertumbuhan membentuk lapisan yaitu ke arah dalam membentuk xylem dan ke arah luar membentuk floem. Xylem tidak lain adalah kayu, yang digunakan dalam artian luas, mulai penggunaan sebagai bahan bangunan, bahan baku produk serat, bahan untuk pengolahan lebih lanjut sebagai papan komposit dan sebagai bahan baku energi.

Kayu dihasilkan dari jenis tumbuhan yang kita kenal dengan tumbuhan penghasil kayu. Tumbuhan ini memiliki ciri antara lain :

1. Memiliki jaringan pengangkutan (*vascular plant*) yaitu xylem dan floem.
2. Tumbuhan yang hidup lebih dari dua tahun atau tumbuhan perennial.
3. Memiliki batang yang hidup dari tahun ke tahun
4. Melakukan penebalan sekunder, yaitu penambahan besarnya batang oleh kambium

Berdasarkan ciri-ciri tumbuhan berkayu di atas, dapat dibedakan macam tumbuhan berkayu, yaitu :

1. Pohon, adalah tumbuhan berkayu yang tingginya mencapai ± 7 meter pada saat dewasa dan memiliki batang yang tunggal
2. Semak, adalah tumbuhan berkayu yang tingginya jarang mencapai 7 meter pada saat dewasa dan memiliki beberapa batang

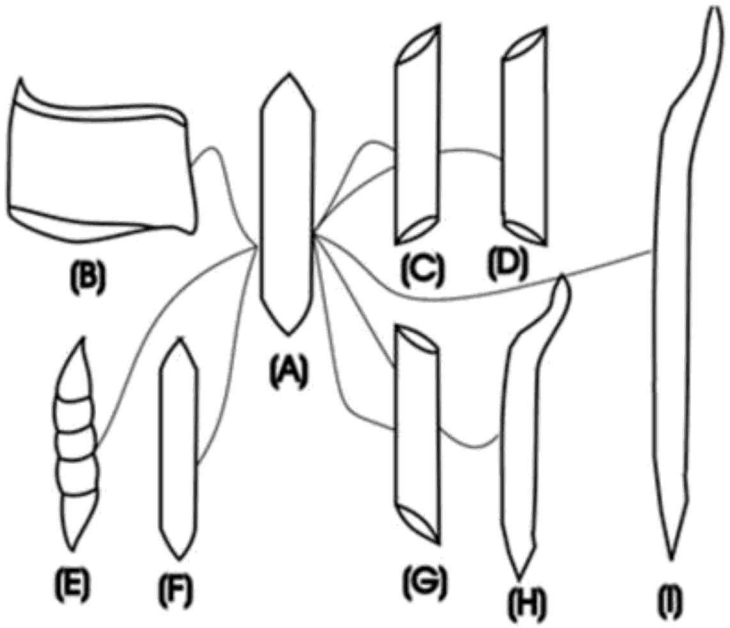
3. Liana berkayu, yaitu tumbuhan yang memanjat dengan alat panjat berupa duri, akar udara, sulur dan lainnya.

1.6.2 Pembentukan Kayu

1.6.2.1 Mekanisme terbentuknya kayu

Mekanisme terbentuknya kayu dimulai dari perkembangan sel yang terjadi atas pembelahan kambium, yaitu sel kambium bentuk kumparan. Pembelahan kambium bentuk kumparan ke arah dalam batang dikenal dengan istilah xylem, sedangkan ke arah luar dikenal dengan istilah floem.

Akibat perkembangan kambium, terjadi pertumbuhan memanjang oleh jaringan meristematis dan penambahan diameter pohon oleh kambium vaskular. Cara pembelahannya pada lapisan permukaan apex, terutama pada kayu daun jarum yaitu antiklinal dan periklinal. Antiklinal adalah pembelahan sel tegak lurus permukaan, sementara periklinal adalah pembelahan sejajar permukaan, Hasil pembelahan sel-sel ini menghasilkan berbagai macam tipe sel. Tipe sel yang dimaksud adalah serat, parenkim, jari-jari, pembuluh dan trakeid. Gambar 1.1 menunjukkan sel inisial kambium bentuk kumparan yang berkembang menjadi beberapa tipe sel.

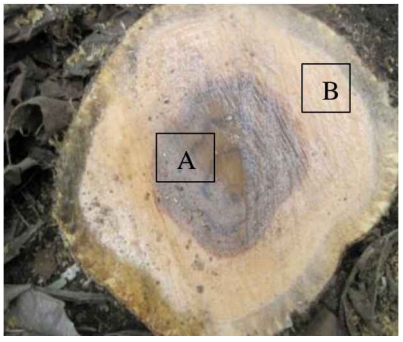


Gambar 1.1. Pembelahan sel unsur longitudinal kayu daun lebar, (A) Inisial kambium bentuk kumparan, (B) Unsur pembuluh kayu awal, (C dan D) unsur pembuluh kayu akhir, (E) parenkim longitudinal beruas, (F) sel parenkim bentuk kumparan, (G) trakeid vascular, (H) trakeid vasisentrik, (I) Serat (Panshin and de Zeeuw, 1980)

Pada proses pertumbuhan pohon banyak faktor yang mempengaruhi, antara lain genetik, lingkungan dan interaksi keduanya. Oleh karena itu, ada beberapa istilah yang harus kita ketahui terkait dengan pembentukan kayu akibat proses pertumbuhan pohon. Istilah-istilah tersebut yaitu kayu teras dan kayu gubal, kayu juvenile dan kayu dewasa serta kayu reaksi. Berikut diuraikan satu per satu.

1.6.2.2 Kayu teras (heartwood) dan kayu gubal (sapwood)

Kayu gubal adalah bagian xylem di dalam pohon yang masih aktif melakukan kegiatan fisiologi. Bagian kayu gubal terletak disebelah luar xylem dan biasanya berwarna lebih terang dibandingkan bagian dalam. Kayu teras adalah bagian xylem di dalam pohon yang telah mati dan tidak lagi melakukan kegiatan fisiologi. Bagian kayu teras terletak disebelah dalam xylem dan biasanya berwarna lebih gelap. Fungsi kayu gubal adalah mengalirkan air dan zat-zat hara dari tanah ke tajuk, sedangkan kayu teras sebagai penopang mekanis. Gambar 1.2 menunjukkan posisi kayu teras dan kayu gubal pada lempengan pohon jati.



Gambar 1.2. Penampang melintang kayu jati, (A) kayu teras, (B) kayu gubal

Perubahan kayu gubal menjadi kayu teras dimulai dengan adanya perubahan warna (*discolorisation*) akibat pembentukan senyawa organik (ekstraktif). Proses perubahan kayu gubal menjadi kayu teras juga dapat diamati secara mikroskopis, yaitu mengalami perubahan bentuk inti sel parenkim dari bulat menjadi lonjong kemudian inti sel ini menghilang. Fase ini berangsur-angsur terjadi seiring dengan umur dan proses fisiologi di dalam pohon. Menurut terbentuknya kayu teras ada beberapa teori yang mendukung (Prawirohatmodjo, 2003), yaitu:

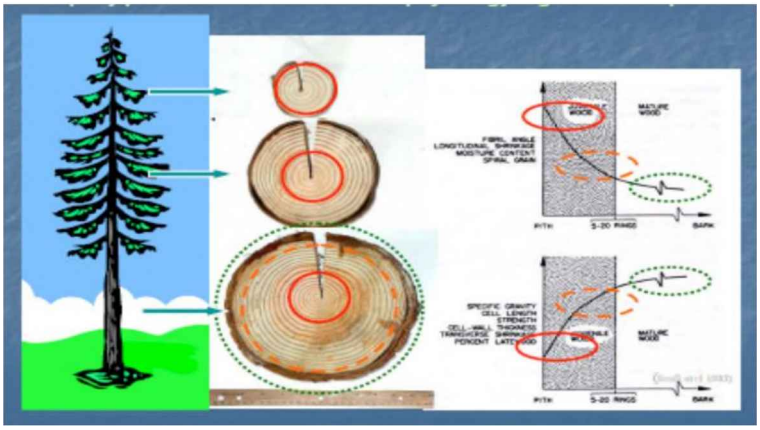
a. Akibat proses ketuaan (*ageing process)*
b. Akibat serangan cendawan
c. Akibat akumulasi ekstraktif

d. Akibat proses perkembangan
e. Akibat kelebihan cadangan makanan
f. Akibat kekurangan air
g. Akibat tegangan air

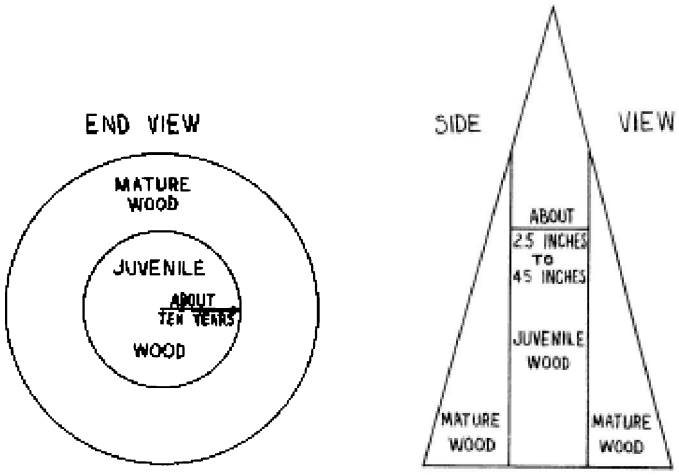
Kayu teras memiliki sifat fisik yang lebih baik dari kayu gubal, berat jenis dan kerapatan kayu yang lebih tinggi. Kandungan komponen kimia terutama ekstraktif lebih banyak dan lebih awet karena dengan adanya ekstraktif, pembentukan tilosis (khususnya kayu daun lebar), serta aspirasi noktah yang terjadi membuat kayu menjadi kurang permeabilitas. Kondisi ini menyebabkan terhambatnya pertumbuhan jamur perusak kayu, tetapi menjadi faktor penghalang pada proses pengeringan, pengawetan dan pulping.

1.6.2.3 Kayu juvenil dan kayu dewasa

Kayu juvenile biasa dikenal dengan kayu bentukan tajuk (*crown-formed wood*) yaitu bagian batang yang terdapat di dalam tajuk atau keberadaannya dipengaruhi oleh bentuk tajuk. Pohon dengan tajuk yang panjang dan rimbun, memiliki diameter batang makin ke bawah makin bertambah besar dan bagian batang di dalam tajuk meruncing. Tajuk yang rimbun menghasilkan auksin yang banyak dan menyebar merata sepanjang batang, sehingga kayu awal yang terbentuk lebih banyak ke bagian bawah. Sebaliknya, pohon dengan tajuk yang kecil, produksi auksin yang rendah mengakibatkan penyebaran auxin ke bagian bawah batang berkurang sehingga batang pohon lebih silindris, porsi kayu juvenile lebih sedikit.



Gambar 1.3. Pola sifat kayu juvenile dan kayu dewasa



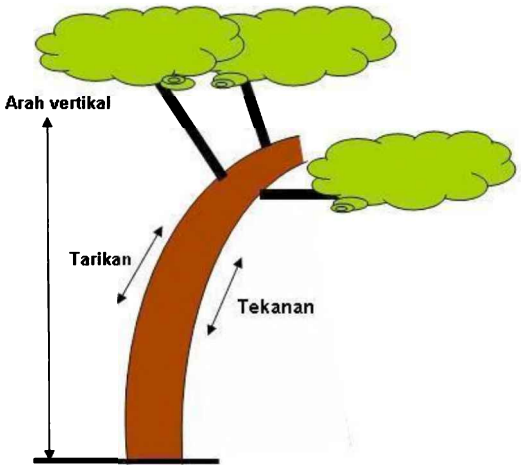
Gambar 1.4. Juvenil wood pada loblolly pine (Pinus taeda) (Zobel & Sprague, 1998)

Karakteristik kayu juvenile dibandingkan kayu dewasa antara lain :

- Kerapatan dan berat jenis kayu lebih rendah
- Dinding sel tipis dengan diameter lumen yang besar
- Seratnya pendek
- Pada saat muda, kadar airnya tinggi hingga terbentuk kayu teras
- Proporsi kayu awal tinggi, dan cenderung mengandung kayu reaksi yang tinggi
- Kandungan selulosa rendah tetapi kandungan lignin tinggi (9% dari kayu normal)
- Memiliki kekuatan yang rendah
- Kestabilan dimensi rendah, penyusutan longitudinal yang besar
- Sudut mikrofibril sangat besar
- Permukaan produk/papan "*cheesy*"
- Memiliki cacat alami

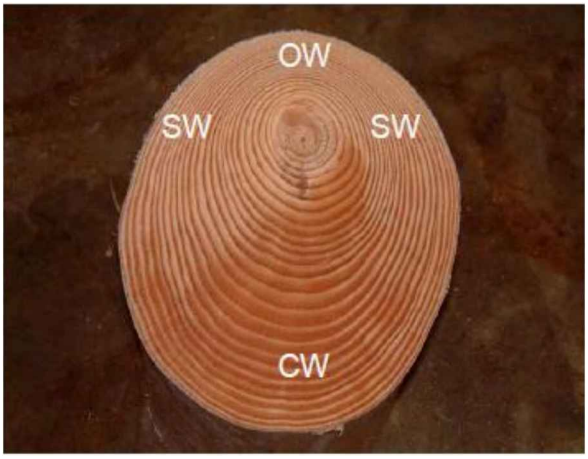
1.6.2.4 Kayu reaksi (reaction wood)

Kayu reaksi memiliki dua tipe, jika terbentuk pada kayu daun jarum namanya kayu tekan tetapi jika terbentuk pada kayu daun lebar namanya kayu tarik. Kayu reaksi terjadi karena adanya pengaruh gaya gravitasi/gaya berat dan auksin as. Indol- asetat (IAA) dan as. giberelat.



Gambar 1.5. Pembentukan kayu reaksi

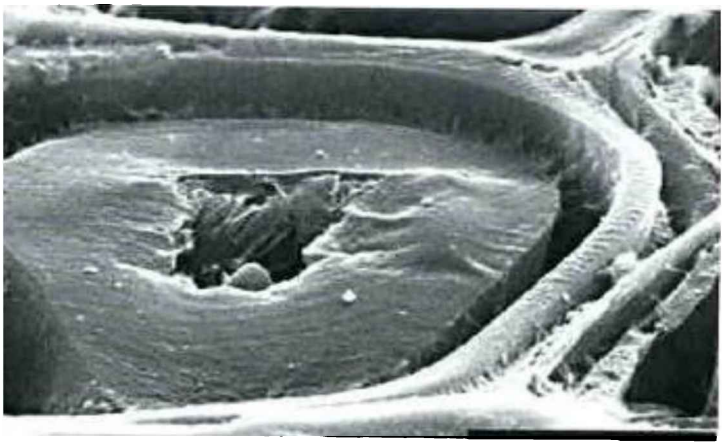
Kayu tekan terjadi pada kayu daun jarum disisi bagian bawah batang, memiliki karakteristik panjang trakeid yang relative pendek, kandungan lignin yang tinggi (kayu normal 28-30 %, kayu tekan 35-39 %), berat jenis lebih tinggi daripada kayu normal sekitar 15-40 %, sudut mikrofibril yang besar (30-50°) dan memiliki penyusutan longitudinal yang lebih besar dibandingkan kayu normal.



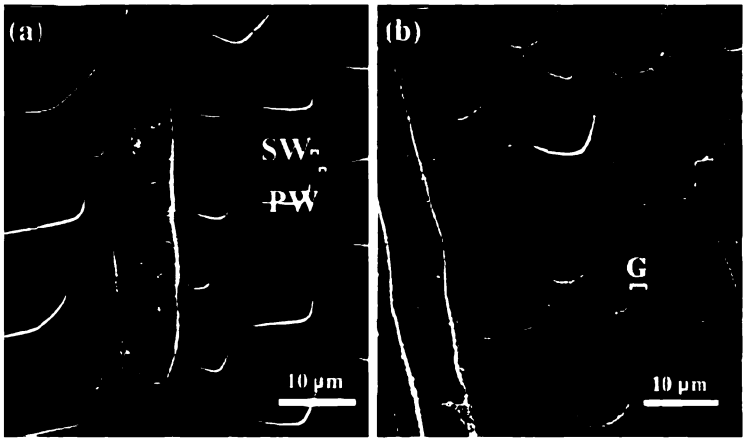
Gambar 1.6. Penampang melintang pohon (CW) compression wood/kayu tekan,(OW) opposite wood, (SW) side wood (Yeh, 2005)

Kayu tarik terjadi pada kayu daun lebar disisi bagian atas batang, memiliki lapisan gelatinous yang memiliki kandungan selulosa yang tinggi, panjang serat yang relative pendek, sel pembuluh sedikit dan kecil, kandungan lignin yang rendah, memiliki daerah kristalin yang tinggi, berat jenis lebih tinggi daripada kayu normal dan memiliki penyusutan longitudinal yang lebih besar dibandingkan kayu normal.

Gambar 1.7. Kayu tarik pada kayu daun lebar



Gambar 1.8. Lapisan gelatinous pada Populus sp yang menyusut pada bidang axial akibat proses pengeringan. (Barnett and Jeronimidis, 2003)



Gambar 1.9. (a) Serat pada bagian opposite wood kayu tarik; (b) G-fibres with an additional thick layer in the side wood (Pilate et all, 2004)

1.7 Tugas/Kasus

- Mahasiswa menjelaskan sifat-sifat lima jenis tumbuhan berkayu

- Mahasiswa menjelaskan defenisi, sifat-sifat dan hubungan dengan penggunaan kayu dari kayu teras, kayu juvenil dan kayu reaksi

1.8 Bahan Bacaan Pengayaan

Bahan bacaan untuk pengayaan bagian pembelajaran ini bisa diperoleh dari jurnal-jurnal yang berkaitan dengan penelitian sifat dasar kayu.

1.9 Daftar Pustaka

Bowyer JL, Shmulsky R, Haygreen JG. 2003. *Forest Products and Wood Science*. An Introduction. Fourth Edition. USA: IOWA State Press.

Butterfield BG. 2003. Wood Anatomy in Relation to Wood Quality. Di dalam Barnett JR, George J, editor. *Wood Quality and its Biological Basis.* U.K. Blackwell Publishing. CRC Press.

Chauhan S, Donnelly R, Huang CL, Nakada R, Yafang Y, Walker J. 2006. Chapter 5. Wood Quality: In Context. Di dalam Walker, J.C.F., *Primary Wood Processing. Principles and Practice.* Ed. 2. The Netherlands: Springer.

Darwis A, Hartono R, Hidayat SS. 2005. Persentase Kayu Teras dan Kayu Gubal serta Penentuan Kayu Juvenil dan Kayu Dewasa pada Lima Kelas Umur Jati (*Tectona grandis* L.f). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* 3(1):6-8.

Lukmandaru G. 2009. Sifat Kimia dan Warna Teras Jati pada Tiga Umur Berbeda. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* 7(1):1-7.

Martawijaya A, Kartasujana I, Kadir K, Prawira SA. 2005. *Atlas Kayu Indonesia. Jilid I.* Departemen Kehutanan. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Bogor-Indonesia.

Panshin AJ, de Zeeuw C. 1980. *Textbook of Wood Technology*. Vol. I. London: McGraw Hill Book Co. N.Y.

Prawirohatmodjo S. 2003. Pembentukan Kayu Teras. Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Tsoumis, G. 1991. *Science and Technology of Wood. Structure, Properties, Utilization.* New York: Van Nostrand Reinhold.

Wheeler EA, Baas P, Gasson PE. 1989. IAWA List of Microcopic Features for Hardwood Identification. *IAWA Bulletin n.s.* 10(3):219-332.

Zobel BJ, Van Buijtenen JP. 1989. *Wood Variation – Its Causes and Control*. Berlin: Springer Verlag.

BAB 2. CIRI MAKROSKOPIS KAYU

2.1 Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK1)

CPMK 1 "Mampu memahami secara utuh kayu sebagai produk hasil hutan". CPMK 1 ini mendukung Capaian Pembelajaran Lulusan 2 (CPL2) dari Program Studi Kehutanan yaitu "Mampu menginternalisasi etika professional rimbawan antara lain integritas dan bertanggung jawab, peduli terhadap lingkungan, serta sikap kepemimpinan yang demokratis"

2.2 Sub-CMPK

Sub-CPMK2 Mampu mendeskripsikan bidang orientasi kayu, ciri-ciri makroskopis

2.3 Strategi/Metode/media pembelajaran

Strategi atau metode pembelajaran yang digunakan berupa metode luring dan metode daring. Metode luring yaitu kuliah, praktikum dan diskusi kelompok, sementara metode daring adalah mencari materi pembelajaran secara on line, mendownload materi pembelajaran dari SIKOLA serta mengupload tugas yang diberikan ke SIKOLA.

2.4 Indikator penilaian

1. Ketepatan dalam mendeskripsikan bidang orientasi kayu
2. Ketepatan mendeskripsikan ciri-ciri makroskopis kayu baik secara fisik (9 point) dan struktur anatomi (4 point)

2.5 Bobot penilaian

Bobot penilaian pada materi pada minggu ke empat, sebesar 10 %

2.6 Materi Pembelajaran

2.6.1 CIRI MAKROSKOPIS KAYU

Pengamatan ciri makroskopis dapat dilakukan dengan mata atau lup/kaca pembesar. Ciri makroskopis kayu dianggap penting karena merupakan petunjuk tentang kondisi tumbuh pohonnya, penampakan secara fisik dan membantu dalam identifikasi kayunya (Tsoumis (1991); Bowyer *et al.,* (2003)).

Secara fisik, ciri makroskopis kayu antara lain warna dan corak, berat kayu, tekstur, arah serat, kilap, kesan raba, bau dan rasa serta kekerasan. Sementara secara struktur anatomi, ciri makroskopis kayu antara lain riap pertumbuhan, jari-jari, parenkim, pembuluh dan arah serat. Satu per satu akan kami uraikan ciri makroskopis kayu yang umumnya menjadi alat identifikasi kayu.

2.6.1.1 Warna dan corak

Warna kayu yang digunakan dalam pengenalan jenis kayu ialah warna kayu teras. Warna kayu gubal jarang menunjukkan adanya perbedaan oleh karena itu warna kayu gubal jarang digunakan dalam pengenalan kayu (Panshin and de Zeeuw, 1980). Warna kayu ditentukan rata-rata pada semua bidang kayu pada kondisi kering udara. Warna dalam kayu biasanya dipengaruhi oleh zat ekstraktif atau zat komponen kimia lainnya baik itu di lumen maupun di dinding sel. Perbedaan warna juga dapat terjadi karena kombinasi dengan serat dalam kayu yang menyebabkan setiap bidang potongan menjadi unik dan menambah nilai dekoratif. Warna kayu ada beraneka ragam, antara lain warna kuning keputih-putihan, coklat muda, coklat tua, kehitam-hitaman, kemerah-merahan dan lain sebagainya. Contoh kayu yang berwarna putih misalnya jelutung, yang berwarna merah misalnya kempas, warna coklat kehitaman misalnya eboni (Dumanauw (1990); Kasmudjo (2010)).

Gambar 2.1. Perbedaan warna kayu teras dan kayu gubal

2.6.1.2 Berat kayu

Menurut Panshin and de Zeeuw (1980), berat kayu beragam menurut kerapatan bahan kayu yang terdapat dalam setiap satuan isi, kadar ekstraktif kayu dan kandungan

air kayu. Kerapatan bahan kayu dan kandungan air kayu yang dipakai dalam pengenalan kayu lebih praktis. Artinya, jika menggunakan berat kayu sebagai kriteria dalam pengenalan kayu, maka sebaiknya contoh yang dipakai adalah contoh kayu yang memiliki ukuran dan kadar air yang sama.

Berat suatu jenis kayu tergantung dari jumlah zat kayu yang tersusun misalnya rongga sel atau jumlah pori, kadar air yang terkandung serta zat ekstraktif yang terkandung di dalamnya. Berat suatu kayu merupakan petunjuk terhadap berat jenis kayu artinya kayu yang berat biasanya berat jenisnya tinggi, sedangkan kayu ringan berat jenisnya rendah (Dumanauw (1990); Kasmudjo (2010)). Berdasarkan berat jenisnya, jenis-jenis kayu digolongkan ke dalam kelas-kelas berat seperti pada Tabel 2.1. Contoh kayu yang sangat berat misalnya kayu eboni, tergolong sedang adalah kayu jati, sedangkan kayu sengon dan gmelina tergolong ringan.

Tabel 2.1. Penggolongan kelas berat kayu

Kelas berat kayu	Berat jenis
a. Sangat berat	Lebih besar dari 0,90
b. Berat	0,75 - 0,90
c. Agak Berat	0,60 – 0,75
d. Ringan	Lebih kecil dari 0,60

Sumber : Dumanauw (1990).

2.6.1.3 Tekstur kayu

Tekstur kayu ditentukan oleh besar kecilnya rongga sel kayu dan keseragaman ukuran dari sel-sel yang menyusun kayu. Berdasarkan teksturnya, jenis kayu digolongkan ke dalam beberapa golongan yaitu jika kayu memiliki rongga sel yang besar dan tersebar secara merata di seluruh batang pohon, maka kayu disebut bertekstur kasar. Sebaliknya, jika kayu memiliki rongga sel yang kecil dan tersebar di seluruh batang pohon, maka kayu disebut bertekstur halus (Panshin and de Zeeuw (1980); Dumanauw (1990)).

2.6.1.4 Kilap kayu

Kilap kayu merupakan suatu sifat kayu yang dapat memantulkan cahaya, dengan kata lain mempunyai sifat yang memperlihatkan kilau. Kayu berkilap atau suram tergantung dari sifat-sifat yang dimiliki oleh kayu tersebut. Kilap kayu berbeda dari warna kayu dan juga berbeda dari kemampuan kayu untuk dipolis atau pelitur (Panshin and de Zeeuw, 1980).

Adanya ekstraktif didalam kayu dapat memberikan kesan bahwa kayu tersebut lebih mengkilap. Kilap kayu pada bidang radial umunya lebih mengkilap dibandingkan pada arah bidang tangensial. Hal ini disebabkan oleh jari-jari yang dapat memantulkan cahaya pada bidang radial. Kilap kayu ditentukan pada kayu kondisi kering udara yang telah diratakan (Kasmudjo, 2010).

Kilap kayu tergantung pada sudut datangnya sinar yang mengenai permukaan kayu dan juga tergantung pada tiap sel yang menyusun permukaan kayu. Kilap kayu hanya sebagai ciri tambahan dalam mengenal kayu. Kilap kayu dapat membantu untuk membedakan dua jenis kayu yang mempunyai ciri-ciri makroskopis yang mirip (Panshin and de Zeeuw, 1980). Contoh kayu yang permukaannya mengkilap adalah kayu eboni dan kayu yang permukaan kusam adalah kayu pangium.

2.6.1.5 Kesan raba

Kesan raba suatu jenis kayu adalah kesan yang diperoleh pada saat kita meraba permukaan kayu tersebut. Kesan raba suatu kayu yaitu kesan kasar, halus, licin, dan sebagainya. Kesan raba licin, apabila tekstur kayunya halus dan permukaan kayunya mengandung lilin. Kesan raba juga adalah kesan perasaan keadaan permukaan kayu apabila dilakukan perabaan dengan telapak tangan. Kesan raba kayu dipengaruhi oleh struktur sel, kadar ekstraktif dan kadar air kayunya. Kesan raba ditentukan pada kayu kondisi kering udara (Dumanauw (1990); Kasmudjo (2010)). Penentuan kesan raba sangatlah subyektif, sehingga butuh keterampilan dan kebiasaan dalam menentukan kesan raba. Contoh kesan raba permukaan kayu yang licin adalah kayu agatis, kayu eboni, kesan raba permukaan kayu yang licin dan agak berminyak adalah kayu jati.

2.6.1.6 Bau dan rasa

Bau dan rasa kayu merupakan satu kesatuan, artinya dengan melakukan salah satu pengamatan bisa mewakili keduanya. Rasa kayu jarang dipakai, karena ada kemungkinan negatif apabila dilakukan. Oleh karena itu bau kayu dianggap dapat menjadi perwakilan untuk menggambarkan bau dan rasa. Bau kayu yang dimaksudkan adalah bau yang khas (yang spesifik). Pengamatan harus dilakukan pada bidang yang baru dan masih segar. Bau kayu dapat berasal dari zat ekstaktif yang dikandung (Kasmudjo, 2010).

Bau yang disebabkan oleh adanya zat-zat ekstraktif kayu dapat berfungsi dalam pengenalan kayu, karena zat-zat ekstraktif lebih banyak terdapat dalam kayu teras, maka contoh kayu yang biasa digunakan dalam pengenalan kayu dengan menggunakan

bau yaitu contoh kayu yang berasal dari kayu teras. Bau dalam kayu dipengaruhi oleh zat ekstraktif yang menguap (Panshin and de Zeeuw, 1980). Contoh bau yang biasa tercium dari kayu antara lain : aromatic (Cedars dan Cypress), resinous (Pine), kerosene (Catalpa heartwood), strawberry jam (Acer pseudoplatanus hot or wet), burnt leather (Teak), caramel (Ceratopetalum apelatum) dan kamper (Camphor wood).

2.6.1.7 Kekerasan

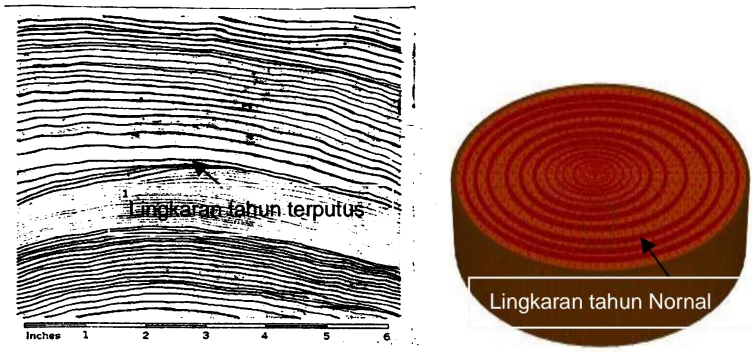
Kekerasan kayu adalah salah satu petunjuk penting dalam penentuan sifat fisik kayu. Zat dinding sel yang terdapat dalam kayu merupakan faktor utama yang dapat memengaruhi kekerasan kayu. Cara penentuan kekerasan kayu dengan cara menoreh dengan pisau atau kuku digunakan untuk tujuan praktis akan tetapi, cara yang tepat dengan menggunakan alat khusus (Panshin and de Zeeuw, 1980).

Di Indonesia, penentuan kekerasan kayu biasanya pada kondisi kayu kering udara dimana kadar airnya berkisar 10-18%. Pada umumnya terdapat hubungan langsung antara kekerasan kayu dan berat kayu. Kayu yang keras juga termasuk kayu yang berat. Kekerasan kayu adalah kesan terhadap kayu apabila dilakukan penekanan, pengerjaan, pemotongan, pengirisan dan sebagainya. Kekerasan suatu kayu tergantung kadar airnya (Dumanauw (1990); Kasmudjo (2010)).

Pengenalan jenis dan karakteristik kayu selain secara makroskopis, dapat diamati pada skala mikroskopis dengan bantuan lup, mikroskop atau secara kasat mata. Ciri tersebut antara lain riap pertumbuhan, jari-jari kayu, parenkim kayu, pembuluh kayu, arah serat dan saluran damar.

2.6.1.8 Riap pertumbuhan

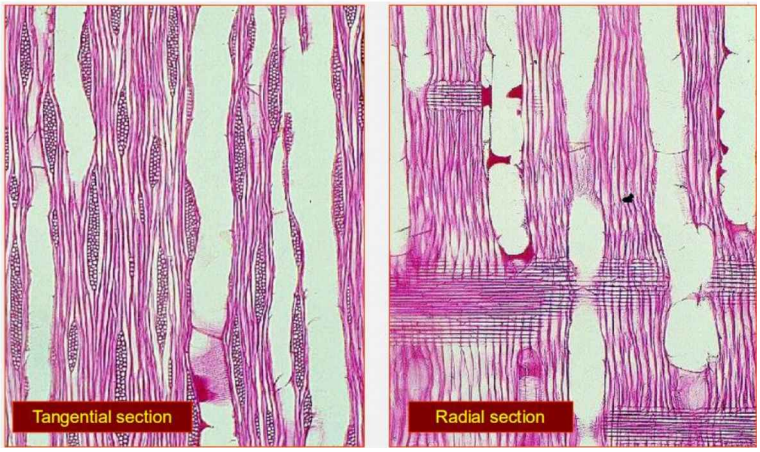
Riap pertumbuhan adalah pertambahan kayu (xylem) dalam suatu periode pertumbuhan. Riap pertumbuhan membentuk lingkaran tahun yang dapat menjadi acuan umur suatu batang pohon. Lingkaran tahun ada yang normal, ada juga yang terputus (Gambar 2.2). Lingkaran tahun terputus biasa terjadi karena adanya gangguan pada saat pertumbuhan pohon, lingkaran tahun menjadi satu beberapa periode.



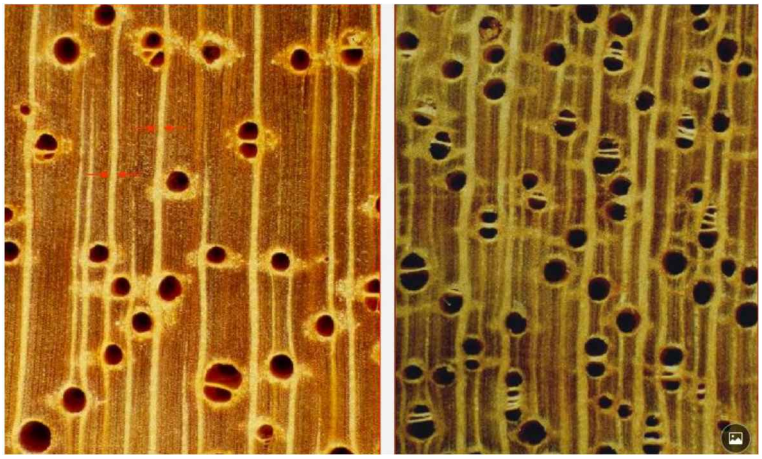
Gambar 2.2. Lingkaran tahun terputus (semu) dan lingkaran tahun normal

2.6.1.9 Jari-jari kayu

Jari-jari kayu adalah kelompok sel / jaringan yang arahnya horizontal (tegak lurus sumbu pohon). Secara makroskopis, jari-jari pada anisotropik kayu yaitu pada penampang radial Gambar 2.3 seperti pita (utuh), noda-noda jari-jari (ray flooks), pada penampang tangential Gambar 2.3 seperti potongan lensa biconvex, sedangkan pada penampang melintang Gambar 2.4 kelihatan seperti garis-garis dengan lebar yang berbeda.



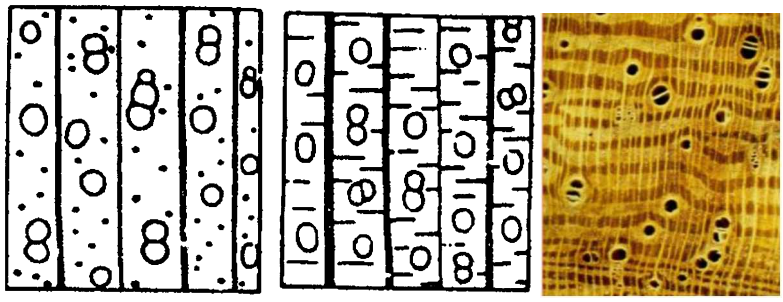
Gambar 2.3. Jari-jari pada penampang tangential dan radial (Illic, 2019)



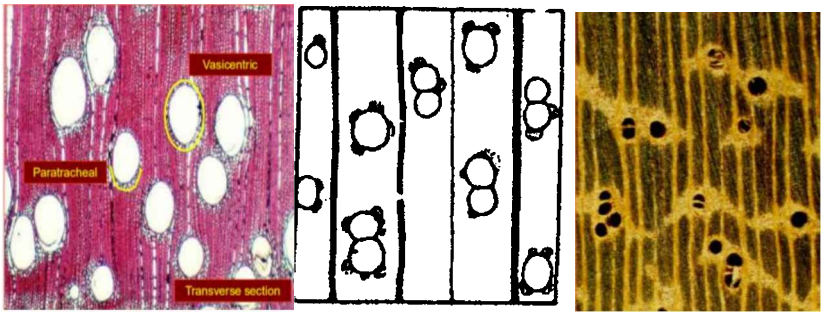
Gambar 2.4. Jari-jari pada penampang melintang (Illic, 2019)

2.6.1.10 Parenkim kayu,

Parenkim kayu adalah sel-sel yang berfungsi sebagai tempat cadangan makanan. Tipe parenkim kayu ada kaitannya dengan pembuluh, yaitu berhubungan dengan pori (paratrakeal) dan tidak berhubungan dengan pori (apotrakeal).



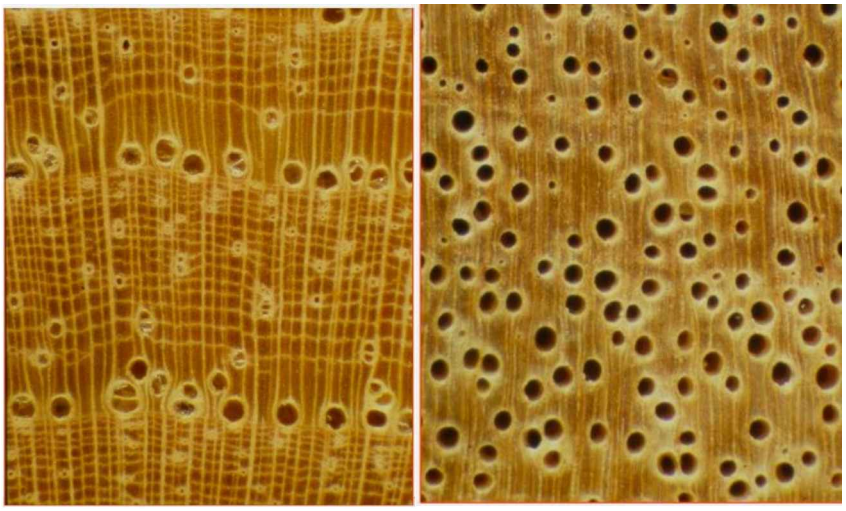
Gambar 2.5. Tipe parenkim apotrakeal



Gambar 2.6. Tipe parenkim paratrakeal

2.6.1.11. Pembuluh kayu

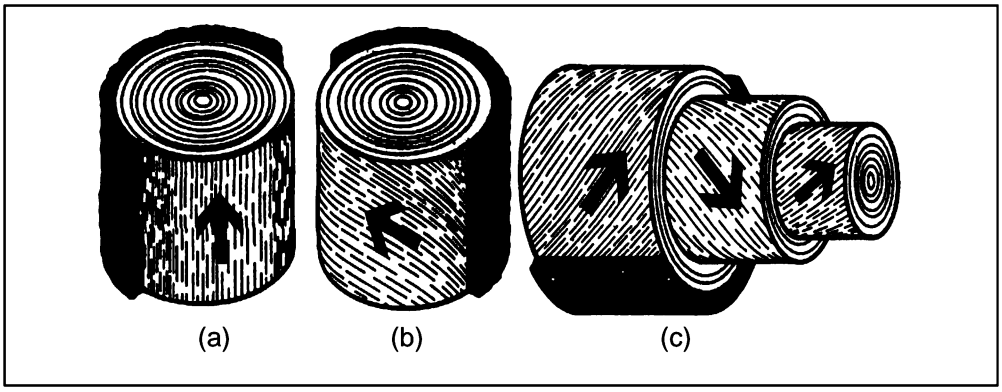
Sel yang tersusun dalam seri vertikal sejajar sumbu batang dan memanjang sampai tinggi tertentu disebut pembuluh atau pori. Pembuluh hanya dijumpai pada kayu daun lebar. Sebaran pori pada kayu antara lain tata baur dan tata lingkar Gambar 2.7. Sebaran pori dikatakan tata baur jika pori tersebar dalam kayu, sementara tata lingkar adalah penyebaran pori yang jelas perbedaan antar pori kayu awal dan pori kayu akhir, sehingga membentuk seperti lingkaran. Umumnya, kayu-kayu didaerah tropis memiliki sebaran pembuluh tata baur, kecuali jati yang memiliki sifat deciduous (menggugurkan daunnya pada musim kemarau).



Gambar 2.7. Sebaran pori tata lingkar dan tata baur (Illic, 2019)

2.6.1.12 Arah serat

Arah serat merupakan bagian utama menyangkut sifat kayu, karena menunjukan arah umum sel-sel kayu didalam kayu terhadap sumbu batang pohon asal. Arah serat dapat ditentukan oleh arah alur-alur yang terdapat pada permukaan kayu. Kayu dikatakan berserat lurus jika arah sel-sel kayunya sejajar dengan sumbu batang. Serat berpadu bila sel-sel kayu terdiri atas sel-sel yang berselang-seling, menyimpang ke kiri kemudian ke kanan terhadap sumbu batang, contohnya yaitu kayu kapur. Serat berombak yaitu serat-serat kayu yang membentuk gambaran berombak, contoh kayu merbau. Serat terpilin yaitu serat-serat kayu yang membuat gambaran terpilin (puntiran), seolah-olah batang kayu dipilin mengelilingi sumbu, contoh kayu dammar (Panshin and de Zeeuw (1980); Dumanauw (1990)). Gambar 2.8 menunjukkan beberapa arah serat.



Sumber : Bowyer et al. 2003

Gambar 2.8. Arah serat: (a) Lurus, (b) Miring, dan (c) Terpadu.

2.7 Tugas/Kasus :

- Mahasiswa menggambarkan dan menjelaskan tiga bidang orientasi pada kayu
- Mahasiswa mendeskripsikan ciri makroskopis sepuluh jenis kayu komersil.

2.8 Bahan Bacaan Pengayaan

Bahan bacaan untuk pengayaan bagian pembelajaran ini bisa diperoleh dari jurnal-jurnal yang berkaitan dengan penelitian sifat dasar kayu.

2.9 Daftar Pustaka

Bowyer, J.L., R. Shmulsky, J.G. Haygreen. 2003. *Forest Products and Wood Science. An Introduction*. Fourth Edition. Iowa State Press.

Dumanauw, J.F. 1990. *Mengenal Kayu*. Pendidikan Industri Kayu Atas. Semarang.

Illic, J., 2019. MACRO Hardwood identification. Melbourne University.

Kasmudjo. 2010. *Teknologi Hasil Hutan*. Penerbit Cakrawala Media. Yogyakarta

Panshin, A.J. and C. de Zeeuw. 1980. *Textbook of Wood Technology*. 4th edition. McGraw-Hill Book Co. New York.

Tsoumis, G. 1991. *Science and Technology of Wood. Structure, Properties, Utilization*. Van Nostrand Reinhold. New York.

BAB 3. KAYU DAUN LEBAR DAN DAUN JARUM

3.1. Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK1)

CPMK 1 "Mampu memahami secara utuh kayu sebagai produk hasil hutan". CPMK 1 ini mendukung Capaian Pembelajaran Lulusan 2 (CPL2) dari Program Studi Kehutanan yaitu "Mampu menginternalisasi etika professional rimbawan antara lain integritas dan bertanggung jawab, peduli terhadap lingkungan, serta sikap kepemimpinan yang demokratis"

3.2. Sub-CMPK

Sub-CPMK2 Mampu mendeskripsikan bidang orientasi kayu, ciri-ciri makroskopis dan sel-sel penyusun kayu

3.3. Strategi/Metode/media pembelajaran

Strategi atau metode pembelajaran yang digunakan berupa metode luring dan metode daring. Metode luring yaitu kuliah, praktikum dan diskusi kelompok, sementara metode daring adalah mencari materi pembelajaran secara on line, mendownload materi pembelajaran dari SIKOLA serta mengupload tugas yang diberikan ke SIKOLA.

3.4. Indikator penilaian

1. Ketepatan dalam mendeskripsikan bidang orientasi kayu
2. Ketepatan mendeskripsikan ciri-ciri makroskopis kayu baik secara fisik (9 point) dan struktur anatomi (4 point)

3.5. Bobot penilaian

Bobot penilaian pada materi pada minggu ke empat, sebesar 20 %

3.6. Materi Pembelajaran

3.6.1. Sel-sel Penyusun Kayu Daun Lebar dan Kayu Daun Jarum

Sistem klasifikasi tumbuh-tumbuhan terbagi menjadi 4 divisi yaitu Thallophytes, Bryophytes, Pteridophytes dan Spermatophytes. Jenis tumbuhan berkayu masuk ke dalam golongan Spermatophytes. Tumbuhan berkayu terbagi menjadi dua sub divisi yaitu Angiospermae dan Gymnospermae. Gymnospermae adalah tumbuhan

berbiji terbuka, contohnya jenis kayu daun jarum sedangkan Angiospermae adalah tumbuhan berbiji tertutup, terbagi menjadi monocotyl dan dycotil. Monocotyl adalah tumbuhan berbiji satu, contohnya bambu, rotan dll sedangkan dicotyl adalah tumbuhan berbiji dua contohnya semua jenis kayu daun lebar.

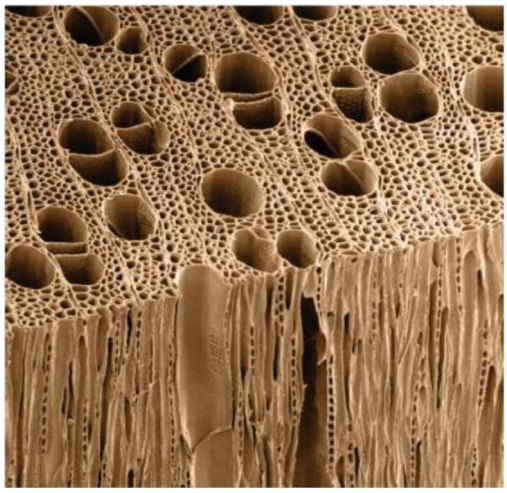
Kayu daun jarum dan kayu daun lebar merupakan nama perdagangan yang dikenal secara umum, atau biasa disebut softwood dan hardwood. Perbedaan sel-sel penyusun kayu daun lebar dan kayu daun jarum antara lain adalah :

a. Kayu daun jarum memiliki sedikit tipe sel, sedangkan kayu daun lebar memiliki beberapa tipe sel.
b. Kayu daun jarum memiliki trakeid ± 90 % sedangkan kayu daun lebar memiliki pembuluh (pori)
c. Sel-sel pada kayu daun jarum tersusun dalam baris radial yang lurus, sedangkan pada kayu daun lebar tidak beraturan
d. Sel jari-jari kayu daun lebar adalah multiseriat, sedangkan kayu daun jarum adalah uniseriat.

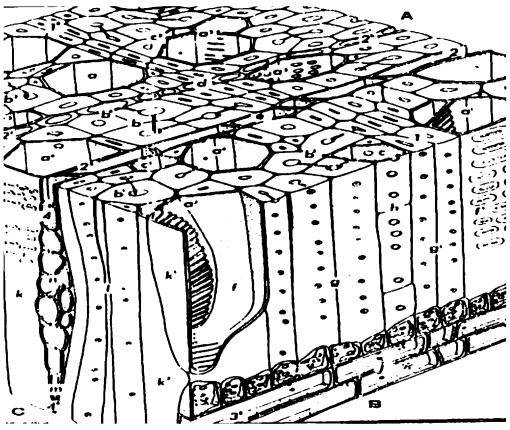
Sel penyusun kayu daun jarum dan kayu daun lebar ada yang berarah longitudinal (searah dengan sumbu batang pohon) dan bearah transversal (tegak luruh dengan sumbuh batang pohon). Sedangkan berdasarkan sifatnya sel-sel penyusun kayu adalah yang bersifat prosenkim dan parenkim. Prosenkim artinya berfungsi sebagai kekuatan mekanik atau penyokong sedangkan parenkim berfungsi sebagai cadangan makanan.

3.6.1.1. Sel-sel penyusun kayu daun lebar

Penampakan sel-sel penyusun kayu daun lebar pada ketiga bidang orientasi yaitu axial, tangential dan radial berbeda satu sama lainnya. Gambar 3.1 dan 3.2 menunjukkan sel-sel penyusun kayu daun lebar pada tiga bidang orientasi kayu yaitu bidang axial, bidang tangential dan bidang radial.



Gambar 3.1. Sel-sel penyusun kayu daun lebar (Walker, 2006)



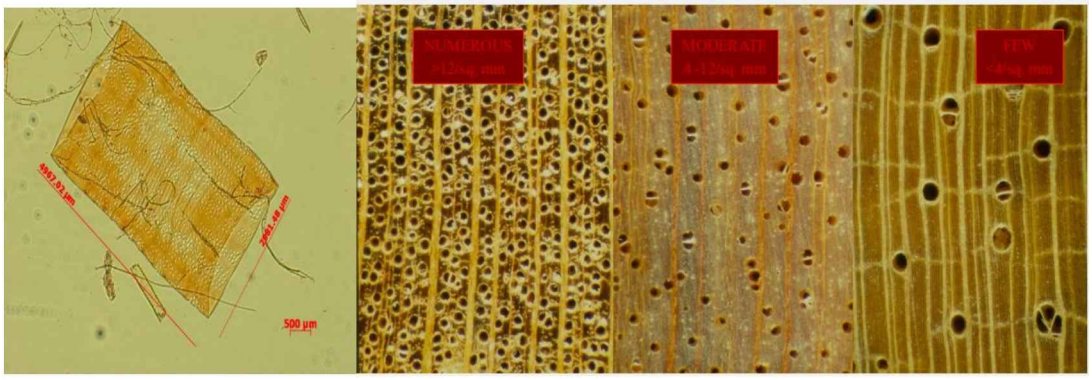
Gambar 3.2. Sel-sel penyusun kayu daun lebar (Panshin & de Zeeuw, 1980)

Persentase sel-sel penyusun kayu daun lebar antara lain serabut 15-60%, sel pembuluh 20-60%, parenkim longitudinal 0-15% dan parenkim jari-jari 5-30%. Pada Tabel 3.1 dapat dilihat sel-sel penyusun kayu daun lebar.

Tabel 3.1. Sel-sel penyusun kayu daun lebar

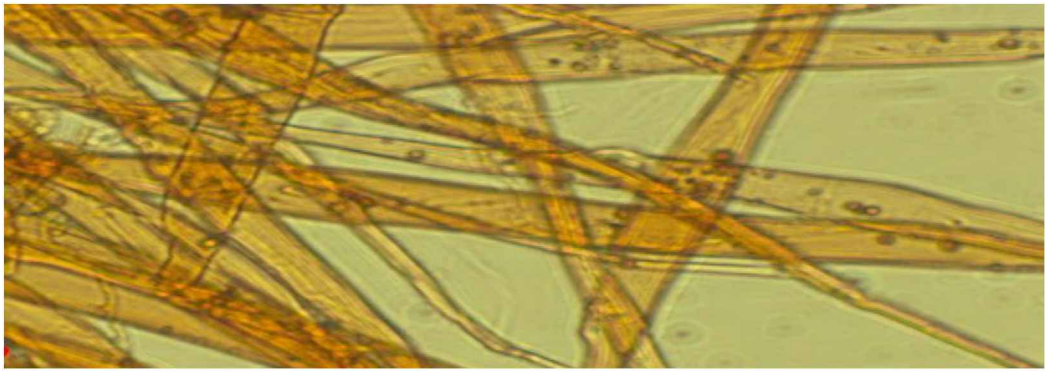
	Prosenkim	**Parenkim**
Unsur-unsur longitudinal	Pembuluh Trakeid (vascular, vasisentrik) serabut (trakeid serabut, serabut libriform)	Parenkim beruas Parenkim bentuk kumparan Parenkim epitel.
Unsur-unsur transversal	Tidak ada	Parenkim jari-jari (homogen, heterogen) Parenkim epitel

Sel yang berbentuk seperti genderang, dimana kedua ujungnya terbuka dan lebar disebut pembuluh/pori. Gambar 3.3 menunjukkan ukuran pembuluh dan sebaran mulai dari sangat jarang hingga sangat porous.



Gambar 3.3. Pembuluh kayu daun lebar

Sel yang sangat panjang dimana kedua ujungnya tertutup dinamakan serat atau serabut dengan panjang 0.6 hingga 1.9 µm. Volume serat yang mendominasi kayu daun lebar mengakibatkan peran serat sangatlah penting. Khusus dalam penggunaan kayu, dimensi serat sangat menentukan kualitas kayu untuk produk serat, salah satunya yaitu bahan baku pulp (bubur kayu) untuk pembuatan kertas. Gambar 3.4 memperlihatkan individu-individu serat hasil maserasi.

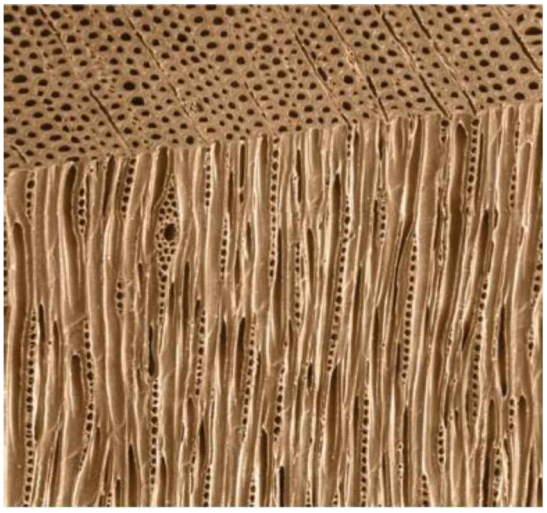


Gambar 3.4. Serat/serabut kayu daun lebar

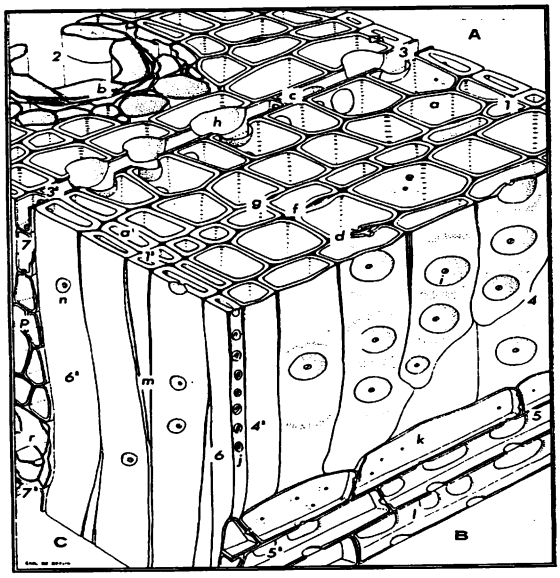
Sel parenkim dan sel jari-jari penyusun kayu daun lebar sama dengan sel parenkim dan sel jari-jari pada Bab. 2 yaitu Ciri Mikroskopis

3.6.1.2. Sel-sel penyusun kayu daun jarum

Penampakan sel-sel penyusun kayu daun jarum pada ketiga bidang orientasi yaitu axial, tangential dan radial berbeda satu sama lainnya. Gambar 3.5 dan 3.6 menunjukkan sel-sel penyusun kayu daun jarum pada tiga bidang orientasi kayu yaitu bidang axial, bidang tangential dan bidang radial.



Gambar 3.5. Sel-sel penyusun kayu daun jarum (Walker, 2006)



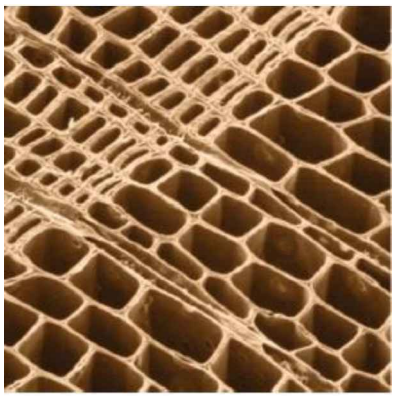
Gambar 3.6. Sketsa sel-sel penyusun kayu daun jarum (Panshin and de Zeeuw, 1980)

Persentase sel-sel penyusun kayu daun lebar antara lain trakeid 90-94%, parenkim jari-jari 5-9% dan saluran resin 0.1-1 %. Pada Tabel 3.1 dapat dilihat sel-sel penyusun kayu daun jarum. Sel-sel penyusun kayu daun jarum yang bersifat prosenkim dan parenkim dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Sel-sel penyusun kayu daun jarum

	Prosenkim	**Parenkim**
Unsur-unsur longitudinal	Trakeid longitudinal Strand tracheids	Parenkim longitudinal Parenkim epitel.
Unsur-unsur transversal	Trakeid jari-jari	Parenkim jari-jari (homogen, heterogen) Parenkim epitel

Sel yang sangat panjang dimana kedua ujungnya tertutup dan berbentuk hexagonal, dinamakan trakeid dengan panjang 3 hingga 5 mm. Volume trakeid yang mendominasi kayu daun jarum yaitu sekitar 95 % membuat sel-sel penyusun kayu daun jarum hampir seragam. Gambar 3.5 memperlihatkan trakeid penyusun kayu daun jarum.



Gambar 3.7. Trakeid kayu daun jarum

BAB 4. KOMPONEN KIMIA KAYU

4.1 Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK 2)

CPMK 2 "Mampu menganalisis dan menyesuaikan potensi penggunaan kayu sesuai dengan karakteristik yang dimiliki"

CPMK 2 ini mendukung pencapaian Capaian Pembelajaran Lulusan 5 (CPL5) dari Program Studi Kehutanan yaitu "Mampu mendemonstrasikan prinsip-prinsip pengolahan dan pemanfaatan hasil hutan"

4.2 Sub-CPMK

Sub-CPMK3 Mampu menjelaskan dan mendemonstrasikan metode pemisahan komponen kimia kayu dan menganalisis hubungannya dengan tujuan penggunaan kayu (CMPK2); CPL-5

4.3 Strategi/Metode/Media Pembelajaran

Pada materi ini, strategi/metode pembelajaran yang digunakan berupa metode luring yakni kuliah, praktikum, diskusi kelompok serta membuat video praktikum analisis komponen kimia kayu dan metode daring berupa belajar mandiri dengan mendownload semua materi pembelajaran yang ada di SIKOLA, mahasiswa mengupload tugas-summary diskusi ke SIKOLA dan laporan hasil praktikum dan link youtube ke SIKOLA

4.4 Indikator penilaian

1. Kemampuan menjelaskan komponen kimia kayu dan hubungannya dengan tujuan penggunaan kayu
2. Kemampuan mendemonstrasikan metode pemisahan komponen kimia kayu

4.5 Bobot Penilaian

Bobot penilaian pada materi pada minggu ke-5 sampai dengan ke-7 ini sebesar 15%.

4.6 Materi Pembelajaran

Kayu tersusun oleh berbagai komponen kimia yang secara garis besar digolongkan menjadi komponen struktural dan komponen non-struktural penyusun dinding sel kayu. Komponen struktural adalah komponen kimia utama penyusun

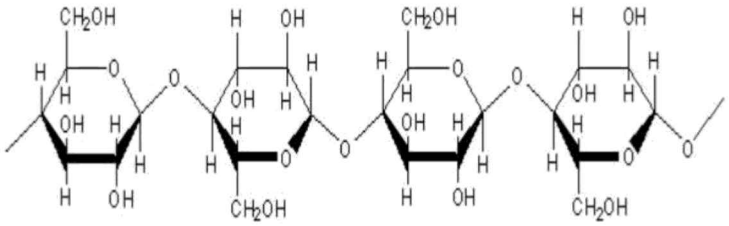
dinding sel kayu dan dibedakan atas komponen karbohidrat dan non-karbohidrat. Komponen karbohidrat terdiri atas selulosa dan hemiselulosa, sementara komponen non-karbohidrat terdiri atas lignin. Sementara itu, komponen non-struktural terdiri atas zat ekstraktif dan bahan-bahan mineral yang lebih dikenal dengan komponen abu atau zat anorganik.

Komponen struktural penyusun dinding sel kayu merupakan hasil metabolisme primer dari proses fotosintesis dan dikenal juga dengan nama metabolit primer, sementara komponen non-struktural merupakan hasil metabolisme sekunder atau disebut juga metabolit sekunder. Komponen metabolit primer atau selulosa, hemiselulosa dan lignin terdapat di semua jenis tumbuhan berlignoselulosa dengan , namun komponen metabolit sekunder tidak

4.6.1 Selulosa

Selulosa merupakan suatu polisakarida yang tersusun dari unit perulangan D-glukosa yang mempunyai tiga gugus hidroksil yang dapat disubstitusi, tidak larut dalam air mempunyai sifat kristalinitas yang tinggi dan berat molekulnya yang tinggi (terdiri dari satuan berulang D-glukosa yang mencapai 4000 buah per molekul). Substitusi gugus hidroksil,seperti dengan gugus asetil akan menurunkan sifat kristalinitasnya (Baker,1987).

Molekul-molekul selulosa seluruhnya berbentuk linier dan mempunyai kecenderungan kuat membentuk ikatan hidrogen intra dan inter molekul. Berkas-berkas molekul selulosa membentuk agregat bersama-sama dalam bentuk mikrofibril yang berada dalam bentuk amorf dan kristalin secara bergantian.. Daerah yang sangat teratur disebut kristalin dan yang kurang teratur disebut amorf. Mikrofibril membentuk fibril yang kemudian membentuk serat selulosa (Sjostron, 1998). Selulosa memiliki ikatan hidrogen antar molekul yang kuat, hal ini yang menyebabkan selulosa tak dapat larut dalam air meskipun memiliki banyak gugus hidroksil dan bersifat polar (Seymour,1975). Kekuatan rantai selulosa mencegah terjadinya hidrasi molekul pada daerah kristalin (Billmeyer, 1984).



Gambar 4.1. Struktur Kimia Selulosa

Berikut adalah tipe-tipe selulosa, yaitu:

a. Selulosa murni

- selulosa : 97 - 99% (kapas)
- α selulosa : 45 - 50% (kayu)
- α selulosa : 30 - 43% (jerami) dll.

b. Selulosa alam/tumbuhan : terutama pada kayu

c. Selulosa komersial/teknis : Pulp

- dengan proses pulping dan bleaching (pemutihan pulp)
- dengan perlakuan fisika dan mekanik yg drastis
- selulosa banyak mengalami kerusakan/degradasi

d. Selulosa laboratories: holoselulosa, selulosa Cross & Bevan, alfa, beta, gamma selulosa.

4.6.2 Hemiselulosa

Hemiselulosa terdiri atas banyak jenis gula sehingga seringkali juga disebut heteropolisakarida. Rantai polimernya bercabang, relatif pendek dengan derajat polimerisasi antara 100-200. Akibatnya hemiselulosa lebih mudah larut dalam kebanyakan pelarut organik dibandingkan selulosa. Kandungan hemiselulosa dalam kayu berkisar antara 20-30 %.

Hemiselulosa disusun oleh unit-unit gula penyusun sebagai berikut :

a. Pentosa:

   Xilosa, Arabinopiranosa, Arabinofuranosa

b. Hexosa:

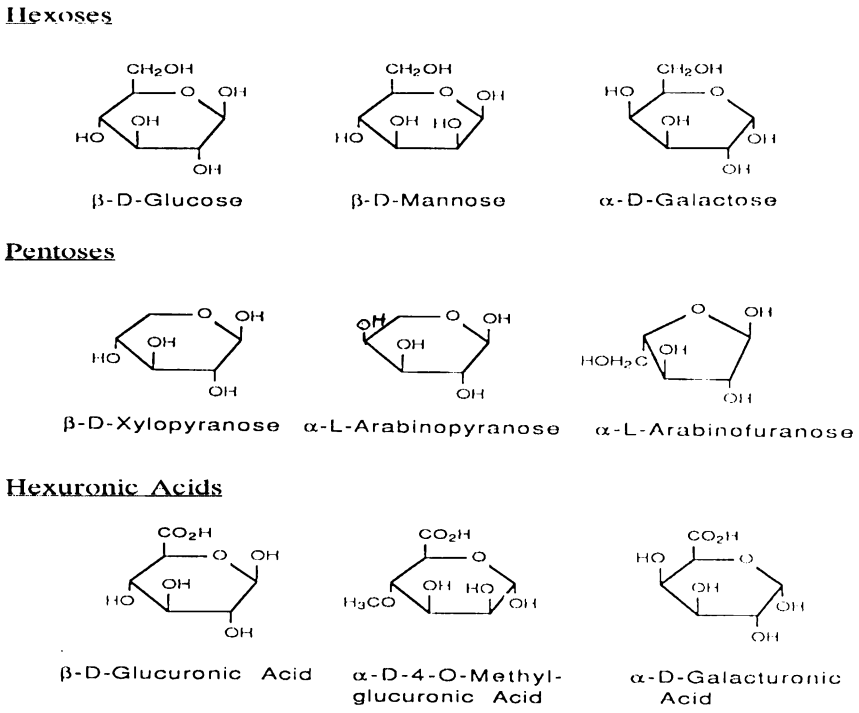
   Glukosa, Mannosa, Galaktosa

c. Asam Heksuronat:

   Asam glukuronat, 4-O-asam metilglukuronat, asam galakturonat

d. Deoksi-Heksosa:

   Ramnosa, Fukosa



Gambar 4.2. Struktur kimia unit-unit gula hemiselulosa

Hemiselulosa Softwood dan hardwood berbeda dalam hal:

1. Kandungan total hemiselulosa
2. Kandungan individu penyusun hemiselulosa
3. Komposisi hemiselulosa (KDJ memiliki kandungan manosa tinggi dan lebih banyak galaktosa, sementara KDL memiliki kandungan xilosa tinggi dan lebih banyak asetil groups

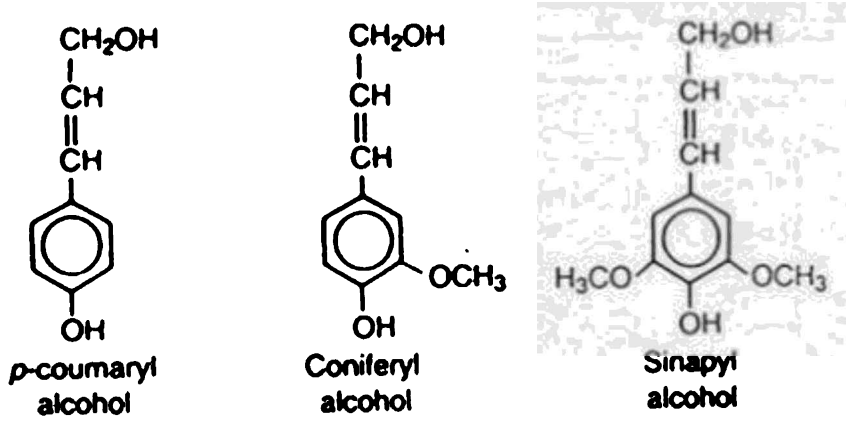
4.6.3 Lignin

Lignin adalah suatu polimer yang kompleks dengan berat molekul tinggi, tersusun atas unit-unit fenilpropana. Lignin sangat stabil, sukar diubah dan mempunyai bentuk yang bermacam-macam, sehingga susunan lignin yang pasti dalam kayu tidak menentu. Lignin terdapat di antara sel-sel dan di dalam dinding sel. Lignin sangat erat hubungannya dengan selulosa dan berfungsi untuk memberikan ketegaran pada sel atau sebagai rangka dari selulosa yang terdapat pada bagian batang dan ranting pohon. Lignin juga berpengaruh dalam memperkecil perubahan dimensi sehubungan dengan perubahan kadar air kayu. Hal ini terkait dengan sifat hidrofobik (menolak air) dari lignin sehingga bagian kayu yang banyak mengandung lignin akan mempunyai kandungan air yang lebih kecil dan demikian pula sebaliknya. Kayu yang berasal dari

pangkal batang mempunyai kandungan lignin yang lebih besar dibanding dengan ujung karena bagian ujung mempunyai kadar air yang tinggi maka kandungan lignin pada bagian tersebut mempunyai persentase kecil (Rowell, 2005) dan mempertinggi sifat ketahanan kayu terhadap serangan cendawan dan serangga karena sebagai proteksi enzim-enzim perusak dan mikro organisme di dalam sel (Bowyer *et al*, 2003; Supartini, 2009).

Fengel dan Wegener (1995), menyatakan bahwa adanya lignin pada kayu dapat menaikkan sifat-sifat kekuatan mekaniknya. Kandungan lignin juga erat kaitannya dengan kekerasan kayu misalnya pada bagian pangkal yang relatif memiliki berat jenis yang tinggi relatif lebih kuat dan keras. Namun di sisi lain lignin tidak dibutuhkan dalam industri kertas karena lignin menyebabkan kertas berwarna coklat. Kadar lignin berpengaruh pada banyaknya pemakaian bahan kimia dalam pembuatan pulp dengan proses kimia. Untuk menghilangkan lignin diperlukan senyawa *chlor* yang banyak sehingga akan menambah biaya produksi (Kasmudjo, 2010).

Banyak studi dengan karbon (14^C) radioaktif menegaskan bahwa p-hidroksisinamil alkohol; p-koumaril alkohol, koniferil alkohol dan sinapil alkohol merupakan senyawa induk (*precursor*) primer dan merupakan unit pembentuk semua lignin (Gambar 4.3).



Gambar 4.3. Unit Dasar Pembentuk Lignin

Achmadi (1990) menyebutkan bahwa lignin dapat dibagi dalam kelompok menurut unsur strukturalnya, yaitu lignin guaiasil dan lignin guaiasil-siringil. Lignin guaiasil terdapat pada kayu daun jarum (23-32%), dengan prazat koniferil alkohol. Lignin guaiasil-siringil merupakan ciri kayu daun lebar (20-28%, pada kayu tropis > 30%), dengan prazat koniferil alkohol : sinapil alkohol, nisbah 4:1 sampai 1:2.

Lignin merupakan senyawa fenolik berupa heteropolimer kompleks yang terdapat pada dinding sel dan berperan penting dalam strategi adaptasi tanaman terhadap cekaman biotik seperti hama dan penyakit. Akan tetapi dari perspektif agroindustri, lignin memiliki dampak negatif dalam pemanfaatan biomassa untuk produk pulp dan kertas, industri tekstil, produksi pakan ternak dan produksi biofuel (Verma, 2014). Kadar dan komposisi lignin pada setiap tanaman bervariasi tergantung umur tanaman, jenis sel dan jaringan serta lokasi tumbuh. Kadar dan komposisi lignin pada setiap tanaman bervariasi tergantung umur tanaman, jenis sel dan jaringan serta lokasi tumbuh. Berdasarkan klasifikasi komponen kimia kayu Indonesia, prosentase kadar lignin kayu dikelompokkan menjadi tiga kategori yaitu lignin tinggi (33%), lignin sedang (18-33%) dan lignin rendah (18%) (Pari, 1996).

Distribusi lignin di dalam dinding sel dan pada bagian pohon yang berbeda tidak sama. Kadar lignin yang tinggi adalah khas untuk bagian batang yang paling rendah dan paling dalam (Fengel and Wegener, 1995). Perbedaan kadar lignin tidak saja terdapat pada bagian pohon yang berbeda tetapi juga tergantung provenans, seperti pada *Acacia mangium* yang kadar ligninnya pada tiga provenans yaitu Queensland, Papua New Guinea dan Indonesia Bagian Timur bervariasi yaitu 21.98, 24.54 dan 23.33% (Syafii and Siregar, 2006). Demikian pula pada kayu sengon, analisis kayu sengon yang dikoleksi dari daerah Cibinong, Cikampek, Tasikmalaya dan Yogyakarta menunjukkan bahwa kadar lignin sengon berbeda dengan kisaran (16.58– 35.59%) (Hartati, dkk., 2011). Berdasarkan komposisi unit strukturalnya, lignin diklasifikasikan ke dalam beberapa tipe. Lignin pada *softwood* (kayu daun jarum) atau disebut lignin guaiasil atau G lignin sebagian besar disusun oleh unit guaiasil (sekitar 90%) dan *p*-kumaril alkohol (sekitar 10%). Lignin pada *hardwood* (kayu daun lebar) atau disebut lignin guaiasil siringil atau G-S lignin disusun oleh unit guaiasil dan siringil dengan perbandingan tertentu, tergantung dari jenis kayu, umur kayu, tempat tumbuh dan iklim (Davin and Lewis, 2005).

4.6.4 Zat Ekstraktif

4.6.4.1 Pengertian Zat Ekstraktif

Zat ekstraktif merupakan komponen non-struktural pada kayu dan kulit tanaman terutama berupa bahan organik yang terdapat pada lumen dan sebagian pada dinding sel. Menurut Achmadi (1990), selain selulosa, hemiselulosa dan lignin, komponen kimia lainnya yang terdapat dalam kayu adalah substansi yang biasa disebut

dengan zat ekstraktif. Persentase zat ekstraktif ini rata-rata 3-8% dari berat kayu kering tanur. Ekstraktif dapat dipandang sebagai konstituen kayu yang tidak struktural, hampir seluruhnya terbentuk dari senyawa-senyawa ekstraseluler dengan berat molekul rendah (Sjöström, 1995).

Zat ekstraktif merupakan sejumlah besar senyawa dalam kayu yang dapat diekstraksi dengan menggunakan pelarut polar dan non polar. Ekstraktif dapat pula diartikan sebagai senyawa yang larut dalam pelarut organik. Zat ekstraktif tersebut tidak semuanya bisa larut dalam pelarut kimia, hal ini disebabkan karena adanya struktur lain dalam zat ekstraktif tersebut seperti mineral atau getah yang mempunyai derajat kondensasi yang tinggi. Zat ekstraktif yang umumnya mempunyai gugus alkohol dan berikatan dengan lignin, kadang dapat diekstraksi dengan pelarut netral.

Jumlah dan jenis zat ekstraktif yang terdapat dalam tanaman bergantung pada letaknya dan jenis tanaman dan umumnya banyak terdapat pada kayu teras. Zat ekstraktif mengandung senyawa-senyawa tunggal tipe lipofil dan hidrofil dalam jumlah yang besar. Zat Ekstraktif dalam kayu dapat berupa karbohidrat, gula, pektin, zat warna dan asam-asam tertentu yang berasosiasi dan mudah larut dalam air dingin. Zat yang terlarut dalam air panas antara lain lemak, zat warna, tanin, damar dan flobatannin. Selanjutnya yang terlarut dalam NaOH terdiri atas senyawa karbohidrat dan lignin (Achmadi, 1990).

Hillis (1987) menyatakan bahwa zat ekstraktif pada pohon di daerah tropis dan subtropis lebih banyak dari pada pohon di daerah sedang (*temperate*). Jumlah kadar zat ekstraktif pada *hardwood* (kayu daun lebar) lebih banyak dibandingkan *softwood* (kayu daun jarum). Riset terhadap 480 sampel *Pinus echinata* yang hidup pada kondisi dan umur berbeda menunjukkan bahwa umur mempunyai pengaruh yang sangat dominan dalam jumlah ekstraktif. Hal yang mempengaruhi kandungan zat ekstraktif dalam kayu di antaranya umur, tempat tumbuh, genetik, posisi dalam pohon, jenis pelarut yang digunakan dan kecepatan pertumbuhan.

4.6.4.2 Pengelompokan Zat Ekstraktif

Zat ekstraktif dikelompokkan ke dalam tiga kelompok besar yaitu kelompok senyawa fenolik, kelompok terpen dan terpenoid, dan kelompok lemak dan lilin.

1. Senyawa Fenolik

Senyawa fenolik merupakan senyawa yang banyak ditemukan pada tumbuhan. Fenolik memiliki cincin aromatik satu atau lebih gugus hidroksi (OH^-) dan gugus-

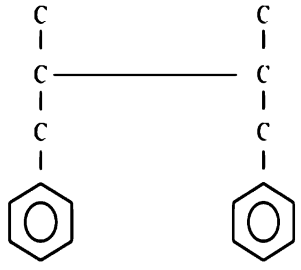
gugus lain penyertanya. Senyawa ini diberi nama berdasarkan nama senyawa induknya, fenol. Senyawa fenol kebanyakan memiliki gugus hidroksil lebih dari satu sehingga disebut polifenol. Senyawa fenolik mempunyai struktur yang khas, yaitu memiliki satu atau lebih gugus hidroksil yang terikat pada satu atau lebih cincin aromatik benzena.

Senyawa fenolik meliputi aneka ragam senyawa yang berasal dari tumbuhan yang mempunyai ciri sama, yaitu cincin aromatik yang mengandung satu atau dua gugus OH^-. Senyawa fenolik di alam terdapat sangat luas, mempunyai variasi struktur yang luas, mudah ditemukan di semua tanaman, daun, bunga dan buah. Ribuan senyawa fenolik alam telah diketahui strukturnya, antara lain flavonoid, fenol monosiklik sederhana, fenil propanoid, polifenol (lignin, melanin, tannin), dan kuinon fenolik.

Banyak senyawa fenolik alami mengandung sekurang-kurangnya satu gugus hidroksil dan lebih banyak yang membentuk senyawa eter, ester atau glioksida daripada senyawa bebasnya. Senyawa ester atau eter fenol tersebut memiliki kelarutan yang lebih besar dalam air daripada senyawa fenol dan senyawa glioksidanya. Dalam keadaan murni, senyawa fenol berupa zat padat yang tidak berwarna, tetapi jika teroksidasi akan berubah menjadi gelap. Kelarutan fenol dalam air akan bertambah, jika gugus hidroksil makin banyak.

Kelompok senyawa fenolik terbagi atas beberapa kelompok senyawa yaitu lignan, flavonoid, stilbene, quinone, dan tannin.

a. Lignan merupakan sekelompok senyawa atau suatu grup dimer dari fenil propana yang berikatan satu sama lain pada karbon nomor 8.



Gambar 4.4. Struktur Lignan

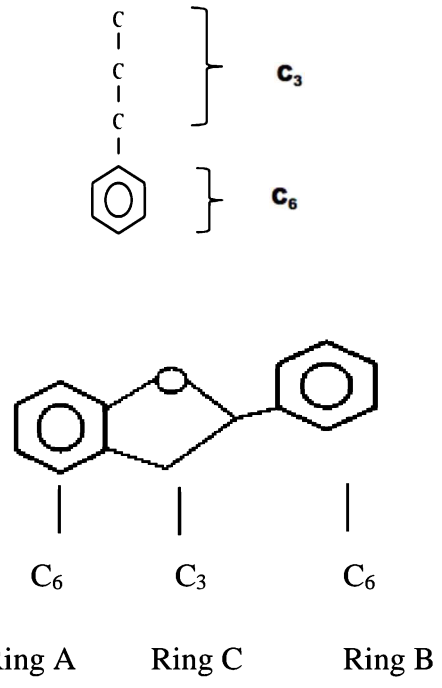
Lignin dan lignan secara kimia strukturnya hampir sama yaitu sama-sama disusun oleh fenil propana tetapi karakteristiknya berbeda. Lignin disusun oleh banyak unit fenil propana dan tidak bersifat optik, sebaliknya lignan hanya disusun oleh dua unit fenil propana (dimer) dan bersifat optik.

Penggabungan 2 unit fenil propanoid dapat pula terjadi melalui ikatan selain membentuk 8-8, yang digolongkan ke dalam neolignan. Sedangkan jika 2 unit fenil propanoid bergabung melalui atom O, senyawa yang terbentuk tergolong dalam oxineolignan.

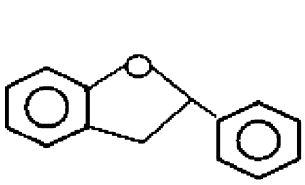
Senyawa lignan ini tersebar luas di dunia tumbuhan dan banyak digunakan secara komersil sebagai antioksidan dan sebagai komponen sinergistik dalam insektisida. Contoh lignan yang paling populer yaitu Eusiderin dari kayu ulin yang sangat resisten terhadap serangan organisme perusak kayu.

Selain itu, lignan merupakan komponen kimia yang aktif dalam tumbuhan obat tertentu. Salah satu senyawa golongan lignan, yaitu *podophyllotoxin*, diketahui dapat menghambat tumor. Dalam pengobatan Cina, lignan banyak dipakai untuk mengobati penyakit hepatitis dan melindungi organ hati.

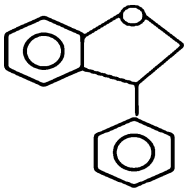
b. Flavonoid merupakan sekelompok senyawa yang disusun oleh unit C_6 - C_3 - C_6.



Gambar 4.5. Struktur Fenil Propana Struktur Dasar Flavonoid



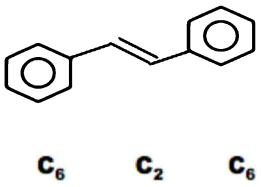
Isoflavonoid



Neo-flavonoid

Gambar 4.6. Struktur Isoflavonoid dan Neo-flavonoid

c. Stilbene merupakan sekelompok senyawa yang penamaannya sebenarnya untuk senyawa α,β-diphenyl etylene, tetapi pada umumnya untuk senyawa-senyawa dengan susunan C_6 - C_2 - C_6.



Gambar 4.7. Struktur Stilbene

d. Quinone merupakan sekelompok senyawa yang:

- Terdapat dalam bakteria, jamur, tanaman angiospermae dan gymnospermae, tetapi tidak terdapat dalam mosses (lumut)
- Sangat berperan dalam keawetan kayu, terutama terhadap serangan organisme perusak kayu seperti jamur, rayap dan lain-lain
- Berbagai macam quinone telah diisolasi dan diidentifikasi dari kayu teras beberapa spesies kayu, misalnya tectoquinone dari kayu jati yang membuat kayu tersebut awet.

e. Tannin

Istilah tanin berasal dari bahasa *Celtic* untuk tanaman penghasil tanin pembuat kulit (penyamak kulit), merupakan polifenol dari tanaman dengan rasa pahit (sepat), bersifat *astringent*, mengendapkan protein, alkaloid dan polisakarida tertentu, mengandung gugus hidroksi dan gugus lain seperti karboksilat sehingga membentuk komplek yang kuat dengan protein dan makromolekul lain, senyawa polifenol larut air dengan berat molekul dari 500 - kurang lebih 20.000

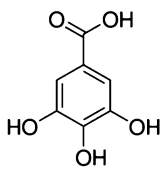
Tanin dapat diklasifikasikan menjadi tanin terhidrolisis (*hydrolyzable tannins*), dan Tanin terkondensasi (*condensed tannins*). Tanin terhidrolisis adalah ester dari asam fenolat (*phenolic acid*) dengan gula Asam fenolat adalah asam gallat (*gallic acid*) dan ellagat (*ellagic acid*). Jika tanin dihidrolisis pada ikatan glikosidanya akan menghasilkan asam gallat atau ellagat dan gula.

- Jika terhidrolisis menghasilkan asam gallat disebut gallatanins

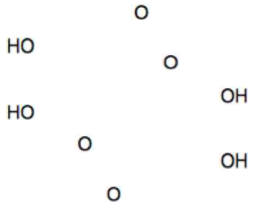
  Gallatanins ⟶ glukosa + asam gallat

- Bila terhidrolisis menghasilkan asam ellagat disebut ellagitanins

  Ellagitanins ⟶ glukosa + asam ellagat



Asam gallat



Asam ellagat

Tannin terkondensasi dicirikan dengan adanya ikatan karbon-karbon (C-C) antara atom C8 pada dan C4 pada cincin A, tapi juga ada yang telah ditemukan dengan ikatan rangkap antara C6-C4.

- Merupakan polimer yang disusun oleh unit flavonoid
- Kandungannya pada umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan tanin terhidrolisis
- Jenis-jenis kayu tropis dan sub tropis pada umumnya mengandung tanin terkondensasi yang relatif tinggi
- Tanin terutama terdapat pada *inner bark* (kulit dalam)

  Dapat digunakan sebagai perekat jika dicampurkan dengan formaldehid

2. Terpen dan Terpenoid

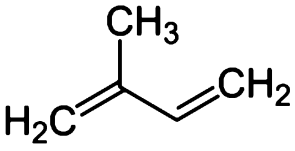
a. Terpen dan turunannya merupakan kelompok senyawa yang paling banyak terdapat pada tanaman dan hewan

b. Umumnya bersifat volatil sehingga mudah tercium baunya

c. Getah oleoresin juga mengandung senyawa-senyawa yang termasuk dalam kelas terpen
d. Ekstraktif kayu daun jarum pada umumnya mengandung semua kelas terpen mulai dari monoterpen hingga triterpen maupun tetraterpen kecuali sesterpen sangat sedikit
e. Di dalam kayu daun lebar pada umumnya mengadung kelas terpen yang lebih tinggi, monoterpen hanya ditemukan di beberapa jenis kayu daun lebar tropis

Klasifikasi terpen

Unit dasar penyusun terpen adalah unit isoprena (2-metil buta-1,3-diena)



Perbandingan banyaknya atom karbon dan atom hidrogen dalam terpen adalah 5 : 8. Terpen tersusun dari senyawa – senyawa yang mengandung gabungan kepala ke ekor dari satuan kerangka isoprena (kepala adalah ujung yang terdekat ke cabang metil). Untuk menekankan hubungan dengan isoprene ini maka terpen juga disebut isoprenoid. Terpen mengandung 2,3 atau lebih satuan isoprene. Secara umum terpenoid terdiri atas unsur-unsur C dan H dengan rumus molekul umum $(C_5H_8)_n$.

Klasifikasi biasanya tergantung pada nilai n.

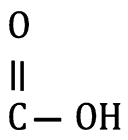
Nama	Rumus	Sumber
Monoterpen	$C_{10}H_{16}$	Minyak Atsiri
Seskuiterpen	$C_{15}H_{24}$	Minyak Atsiri
Diterpen	$C_{20}H_{32}$	Resin Pinus
Triterpen	$C_{30}H_{48}$	Saponin, Damar
Tetraterpen	$C_{40}H_{64}$	Pigmen, Karoten
Politerpen	$(C_5H_8)_n$ n 8	Karet Alam

Terpen-terpen adalah suatu golongan senyawa yang sebagian besar terjadi dalam dunia tumbuh-tumbuhan. Hanya sedikit sekali terpen-terpen yang diperoleh dari sumber-sumber lain. Monoterpen-monoterpen dan seskuiterpen adalah komponen utama dari minyak menguap atau minyak atsiri. Minyak menguap ini diperoleh dari daun atau jaringan-jaringan tertentu dari tumbuh-tumbuhan atau pohon-pohonan.

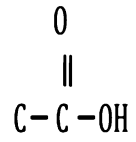
Minyak atsiri adalah bahan yang mudah menguap, sehingga ia mudah dipisahkan dari bahan-bahan lain yang terdapat dalam tumbuh-tumbuhan. Salah satu cara yang paling popular untuk memisahkan minyak atsiri dari jaringan tumbuh-tumbuhan ialah penyulingan. Senyawa-senyawa di dan triterpen tidak dapat diperoleh dengan jalan destilasi uap, tapi diperoleh dari tumbuh-tumbuhan dan tanaman karet atau resin dengan jalan isolasi serta metoda pemisahan tertentu.

3. Kelompok senyawa lemak dan lilin

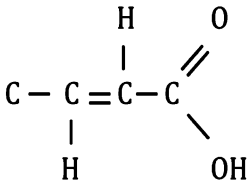
Lemak adalah ester antara asam lemak dengan gliserol. Asam lemak adalah asam karboksilat tingkat tinggi (mempunyai banyak atom karbon).



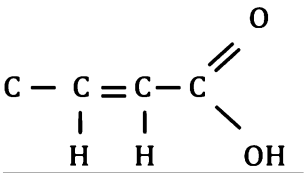
Asam karboksilat



Asam asetat

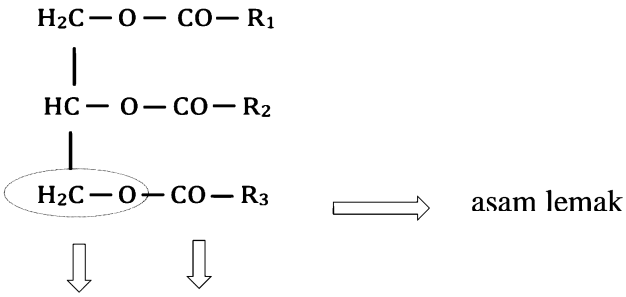


Lemak trans (trans fats)



Lemak cis (cis fats)

Lilin adalah ester antara asam lemak dengan alkohol tingkat tinggi (alkohol dengan atom karbon yang banyak).



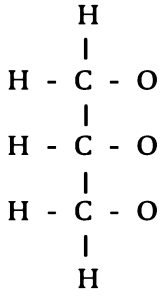
Gliserol ikatan ester

- Lemak berasam 1 ; R1 = R2 = R3
- Lemak berasam 2 ; R1 = R2; R2 = R3; R1 = R3

- Lemak berasam 3 ; R1 ≠ R2 ≠ R3

Waxes

R - O - $(CH_2)_n$ - CH_3 ; R : *fatty acids* (asam lemak R_1, R_2, R_3).



Gliserol

Lemak tidak jenuh mengandung ikatan rangkap. Jika ada tanda ($\triangle$), misalnya di depan angka 9 ($\triangle$ 9) berarti ikatan rangkapnya berada pada atom karbon nomor 9.

4.6.4.3 Penyebaran Zat Ekstraktif

Dumanauw (1990) menyatakan bahwa zat ekstraktif bukan merupakan bagian struktur dinding sel, tetapi terdapat dalam rongga sel. Sedangkan Sjöström (1995) berpendapat bahwa zat ekstraktif tidak tersebar secara merata dalam batang dan dinding sel serat. Ekstraktif terdapat pada tempat tertentu, sebagai contoh asam dalam tumbuhan resin banyak terdapat dalam saluran resin dalam kulit kayu, sedangkan lemak dan lilin banyak terdapat dalam sel parenkim jari-jari baik pada kayu daun jarum dan kayu daun lebar.

Selanjutnya Fengel dan Wegener (1995), mengemukakan bahwa zat ekstraktif berpusat pada resin kanal dan sel perenkim jari-jari. Pada lamela tengah juga terdapat zat ekstraktif dengan kadar yang lebih rendah jika dibandingkan dengan interseluler dan dinding sel trakeid serta libriform.

Dumanauw (1990) menyatakan bahwa zat ekstraktif bukan merupakan bagian struktur dinding sel, tetapi terdapat dalam rongga sel. Sedangkan Sjöström (1995) berpendapat bahwa zat ekstraktif tidak tersebar secara merata dalam batang dan dinding sel serat. Ekstraktif terdapat pada tempat tertentu, sebagai contoh asam dalam tumbuhan resin banyak terdapat dalam saluran resin dalam kulit kayu, sedangkan lemak dan lilin banyak terdapat dalam sel parenkim jari-jari baik pada kayu daun jarum maupun kayu daun lebar. Umumnya kayu daun lebar mempunyai kandungan zat ekstraktif yang lebih banyak dibandingkan dengan kayu daun jarum.

Selanjutnya Fengel dan Wegener (1995), mengemukakan bahwa zat ekstraktif berpusat pada resin kanal dan sel parenkim jari-jari. Pada lamela tengah juga terdapat zat ekstraktif dengan kadar yang lebih rendah jika dibandingkan dengan interseluler dan dinding sel trakeid serta serat libriform.

4.6.4.4 Kegunaan Zat Ekstraktif Bagi Kayu

Sejumlah kayu mengandung senyawa-senyawa yang dapat diekstraksi yang bersifat racun atau mencegah bakteri, jamur dan rayap. Ekstraktif juga dapat memberikan warna dan bau pada kayu (Fengel & Wegener 1995). Dumanaw (2003) menyatakan bahwa zat ekstraktif memiliki peranan dalam kayu karena dapat mempengaruhi sifat keawetan, warna, bau dan rasa sesuatu jenis kayu, dapat digunakan untuk mengenal sesuatu jenis kayu, dapat digunakan sebagai bahan industri, dapat menyulitkan dalam pengerjaan dan mengakibatkan kerusakan pada alat-alat pertukangan.

Selain itu, zat ekstraktif akan menambah dekoratif dari kayu terutama warnanya dan meningkatkan ketahanan kayu terhadap kerusakan secara biologis dan kimia. Sementara pengaruh negatif dari zat ekstraktif pada industri kertas adalah adanya resin akan mengganggu penetrasi bahan kimia dalam serpih yang dapat menyebabkan bintik-bintik hitam pada kertas dan menyumbat lubang pada kasa kawat mesin kertas. Senyawa-senyawa fenol menyebabkan warna hitam pada papan di tempat pemakuan. Asam-asam gallik dan ellagik menyebabkan warna hitam kebiru-biruan pada pisau-pisau gergaji. Senyawa lemak dan minyak mengurangi permeabilitas dan higroskopisitas dari kayu sehingga mempersulit dalam pengawetan, tetapi sifat mengembangn dan menyusut kayu menjadi kecil. Tannin dan glukosa dalam kayu menyebabkan kesulitan dalam perekatan.

Zat ekstraktif dapat digunakan untuk mengenali suatu jenis kayu. Jenis kayu yang berbeda menyebabkan kandungan zat ekstraktif yang berbeda pula, sehingga dapat dijadikan sebagai alat identifikasi/ pengenalan kayu (Dumanauw, 1982). Sedangkan menurut Sjostrom (1995) bahwa tipe-tipe ekstraktif yang berbeda adalah perlu untuk mempertahankan fungsi biologi pohon yang bermacam-macam. Sebagai contoh lemak merupakan sumber energi sel-sel kayu, sedangkan terpenoid-terpenoid rendah, asam-asam resin, dan senyawa-senyawa fenol melindungi kayu terhadap kerusakan secara mikrobiologi atau serangan serangga. Salah satu jenis senyawa fenolik yaitu asam ferulat dapat meningkatkan rigiditas dan kekuatan dinding sel

tanaman, melalui ikatan silang (*cross linking*) dengan pentosan, arabinoxilan dan hemiselulosa, sehingga dinding sel tidak mudah dihidrolisis secara enzimatis selama proses perkecambahan.

Tidak semua organisme mengandung metabolit sekunder atau senyawa yang sejenis, masing-masing mempunyai struktur yang bervariasi, dan setiap senyawa memiliki fungsi atau peranan yang berbeda-beda (pada umumnya senyawa metabolit sekunder berfungsi untuk mempertahankan diri atau untuk mempertahankan eksistensinya di lingkungan tempatnya berada. Dalam perkembangannya, senyawa metabolit sekunder tersebut dipelajari dalam disiplin ilmu tersendiri yaitu kimia bahan alam (*natural product chemistry*). Metabolit sekunder merupakan biomolekul yang dapat digunakan sebagai *lead compounds* dalam penemuan dan pengembangan obat-obat baru, biopestisida maupun sebagai bahan kosmetika alami.

Zat ekstraktif yang bersifat racun menyebabkan ketahanan terhadap pelapukan kayu. Hal ini dibuktikan bahwa ekstrak dari kayu teras lebih bersifat racun daripada ekstrak dari kayu gubal pada pohon yang sama. Serta, ketahanan terhadap pelapukan kayu teras akan berkurang jika diekstraksi dengan air panas atau dengan pelarut organik (Syafii et al., 1987).

Zat ekstraktif memiliki arti yang penting dalam kayu karena:

a. Dapat mempengaruhi sifat keawetan, warna, bau dan rasa sesuatu jenis kayu
b. Dapat digunakan untuk mengenal sesuatu jenis kayu
c. Dapat digunakan sebagai bahan industri
d. Dapat menyulitkan dalam pengerjaan dan mengakibatkan kerusakan pada alat-alat pertukangan.

Zat ekstraktif dapat digunakan untuk mengenali suatu jenis kayu. Jenis kayu yang berbeda menyebabkan kandungan zat ekstraktif yang berbeda pula, sehingga dapat dijadikan sebagai alat identifikasi/ pengenalan kayu (Dumanauw, 1982). Sedangkan menurut Sjostrom (1995) bahwa tipe-tipe ekstraktif yang berbeda adalah perlu untuk mempertahankan fungsi biologi pohon yang bermacam-macam. Sebagai contoh lemak merupakan sumber energi sel-sel kayu, sedangkan terpenoid-terpenoid rendah, asam-asam resin, dan senyawa-senyawa fenol melindungi kayu terhadap kerusakan secara mikrobiologi atau serangan serangga. Ekstraktif tidak hanya penting untuk taksonomi dan biokimia pohon, tetapi juga penting bila dikaitkan dengan aspek-aspek teknologi. Ekstraktif merupakan bahan dasar yang berharga untuk pembuatan

bahan-bahan kimia organik dan memainkan peranan penting dalam proses pembuatan pulp dan kertas.

4.6.4.5 Pemanfaatan Zat Ekstraktif

Tumbuhan menghasilkan berbagai macam senyawa aktif yang memberikan efek farmakologi. Umumnya, senyawa aktif tersebut tidak berperan penting dalam metabolisme tumbuhan, sehingga sering disebut sebagai metabolit sekunder (Stepp dan Moerman, 2001; Liu *et al.,* 1998). Metabolit sekunder telah lama diketahui sebagai sumber terapi medis yang efektif dan penting, misalnya sebagai obat anti-bakteri dan anti-kanker (Cragg, 1997). Senyawa ini secara terus menerus menjadi sumber utama berbagai obat berkhasiat penting (Harvey, 2000). Dalam praktek pengobatan tradisional, masyarakat telah memanfaatkan senyawa aktif dari berbagai tumbuhan dalam bentuk ramuan obat, untuk menyembuhkan penyakit. Senyawa aktif dalam tumbuhan telah menjadi sumber inspirasi untuk terapi penyakit yang sulit atau mahal pengobatannya (Raskin *et al.,* 2002). Senyawa aktif tumbuhan dapat dikelompokkan dalam empat golongan, yaitu: fenol, alkaloid, terpenoid, dan asam amino non-protein. Penggolongan tersebut didasarkan atas prekursor, struktur dasar dan jalur biosintesisnya (Edwards dan Gatehouse, 1999; Smith, 1976). Senyawa-senyawa tersebut memiliki variasi yang luas dalam diversitas kimia, distribusi dan fungsinya (Smith, 1976).

Senyawa fenolik merupakan senyawa bahan alam yang cukup luas penggunaannya saat ini. Kemampuannya sebagai senyawa biologik aktif memberikan suatu peran yang besar terhadap kepentingan manusia. Sudah banyak penelitian diarahkan pada pemanfaatan senyawa fenolik pada berbagai bidang industri. Pada industri makanan dan minuman, senyawa fenolik berperan dalam memberikan aroma yang khas pada produk makanan dan minuman, sebagai zat pewarna makanan dan minuman, dan sebagai antioksidan.

Pada industri farmasi dan kesehatan, senyawa ini banyak digunakan sebagai antioksidan, antimikroba, antikanker dan lain-lain, contohnya obat antikanker (podofilotoksan), antimalaria (kuinina) dan obat demam (aspirin). Selain itu, senyawa ini juga banyak digunakan sebagai insektisida dan fungisida. Selain itu, senyawa fenolik sangat penting untuk pertumbuhan dan reproduksi tanaman, di mana diproduksi sebagai respon untuk mempertahankan tanaman dari serangan terhadap patogen.

Senyawa fenolik mempunyai struktur yang khas, yaitu memiliki satu atau lebih gugus hidroksil yang terikat pada satu atau lebih cincin aromatik benzena, sehingga senyawa ini juga memiliki sifat yang khas, yaitu dapat teroksidasi. Kemampuannya membentuk radikal fenoksi yang stabil pada proses oksidasi menyebabkan senyawa ini banyak digunakan sebagai antioksidan. Manfaat asam fenolik yang paling penting yaitu anti-penuaan yang berhubungan dengan antioksidan yang mengurangi aktivitas dan mencegah pertumbuhan sel abnormal. Asam fenolat berguna dalam mengendalikan peradangan, meningkatkan sistem kekebalan tubuh, dan meningkatkan sirkulasi darah, semua yang menghasilkan signifikan manfaat anti penuaan dalam tubuh. Asam ferulat adalah turunan dari golongan asam hidroksi sinamat, yang memiliki kelimpahan yang tinggi dalam dinding sel tanaman. Hal ini dapat memberikan keuntungan yang signifikan di bidang kesehatan, karena senyawa asam ferulat memiliki aktivitas antikanker dan antioksidan. Selain itu juga dapat menjadi prekursor dalam pembuatan senyawa aromatik lain yang bermanfaat. Sebagai antioksidan, asam ferulat kemungkinan menetralkan radikal bebas, seperti spesies oksigen reaktif (ROS). ROS kemungkinan yang menyebabkan DNA rusak dan mempercepat penuaan.

Dengan studi pada hewan dan studi *in vitro*, mengarahkan bahwa asam ferulat kemungkinan memiliki hubungan dengan aktivitas antitumor perlawanan kanker payudara dan kanker hati. Asam ferulat memiliki kemungkinan sebagai pencegah kanker yang efektif, yang disebabkan oleh paparan senyawa karsinogenik, seperti benzopirene dan 4-nitroquinoline 1-oksida. Namun perlu menjadi catatan, bahwa hal itu tidak diuji coba kontrol random pada manusia, sehingga hasilnya kemungkinan pula tidak dapat dimanfaatkan untuk manusia. Jika ditambahkan pada asam askorbat dan vitamin E, asam ferulat kemungkinan dapat mengurangi stress oksidasi dan pembentukan dimer timidine dalam kulit.

Sementara itu, aktivitas biologi ellagitanin merupakan implikasi dari ikatan antara ellagitanin dengan protein, senyawa dengan berat molekul tinggi, senyawa sederhana, dan ion logam berat (Okuda *et al.,* 1992). Ikatan tersebut membentuk kompleks senyawa yang dapat menyebabkan perubahan fisiologis dalam sel atau jaringan mahluk hidup. Berbagai penelitian telah dikembangkan untuk mengeksplorasi ellagitanin dan aktivitas biologinya. Pada tahun 1992, baru sekitar 90 senyawa ellagitanin yang diketahui memiliki aktivitas biologi (Okuda *et al.* 1992) dan diperkirakan masih banyak yang belum terungkap. Aktivitas biologi ellagitanin yang telah diketahui antara lain sebagai anti-diabetes, anti-mikrobia, anti-virus, anti-

hipertensi, anti-oksidan, dan anti-kanker/tumor. Dari sekian banyak penelitian yang telah dilakukan, belum ada yang menunjukkan efek toksik ellagitanin.

Salah satu bahan yang terdapat dalam zat ekstraktif adalah tanin. Fengel dan Wegener (1995), mengatakan senyawa-senyawa yang paling penting dari kayu yang dapat diekstraksi dengan pelarut adalah asam lemak, asam resin, lilin, tanin, dan senyawa berwarna. Kulit kayu mangrove terkenal sebagai sumber tanin pada industri kulit kayu. Kulit kayu pada batang pohon mangrove mengandung tanin sebanyak 20-30% dari berat kering (Damanik et al, 1987).

Sampai saat ini tanin masih digunakan sebagai perekat dan obat-obatan. Achmadi (1990) mengatakan sudah banyak usaha untuk memanfaatkan tanin sebagai perekat. Pemanfaatn tanin dalam usaha pengawetan, hanya digunakan untuk mengawetkan jaring dan layar oleh para nelayan.

Senyawa fenol yang terkandung pada zat ekstraktif menyebabkan kayu tahan terhadap serangan serangga atau jamur perusak kayu. Zat ekstraktif yang berfungsi sebagai insektisida atau fungisida inilah menjadi faktor utama yang menentukan keawetan alami kayu. Senyawa-senyawa fenol dan alkaloid menyebabkan dermatitis pada pekerja kayu (Direktorat Jenderal Kehutanan, 1976).

4.7 Tugas/Kasus:

Buatlah ringkasan dari bahan bacaan tersebut dan boleh diperkaya dengan bacaan lainnya yang relevan. Ringkasan dimaksud dibuat dengan ketentuan sebagai berikut:

a. kertas yang digunakan adalah A4
b. Margin kiri dan kanan 2,5 cm, atas bawah 3 cm, dengan spasi 1,5, font Times New Roman 12 ppt
c. Jumlah halaman maksimum 20 halaman
d. Tugas dikumpulkan paling lambat 2 minggu setelah penugasan

Format penulisan sebagai berikut:

a. Sampul berisi judul, penulis, fakultas, kota dan tahun, kata pengantar, daftar isi, daftar tabel dan daftar lampiran
b. Bab 1 Pendahuluan
c. Bab 2 Isi Ringkasan
d. Bab 3 Kesimpulan
e. Daftar Pustaka

Hal-hal yang harus dimuat dalam tugas ringkasan tersebut adalah

a. jenis komponen kimia kayu
b. struktur kimia masing-masing komponen kimia kayu tersebut
c. jumlah masing-masing komponen kimia tersebut
d. distribusi komponen kimia kayu
e. fungsi komponen kimia kayu
f. Hubungan antara komponen kimia kayu dengan tujuan penggunaan kayu

Catatan:

Dalam menyelesaikan tugas ini mahasiswa harus berkelompok, dan salah satu indikator penilaian adalah kerjasama tim. Oleh karena itu, di dalam menyusun makalah ini diharapkan setiap tim dapat berdiskusi secara luring dan daring di dalam menu grup diskusi di SIKOLA dan tugas juga diupload di SIKOLA.

4.8 Bahan Bacaan Pengayaan

1. Jurnal-jurnal hasil penelitian mengenai komponen kimia kayu
2. Hasil-hasil penelitian di bidang kimia kayu yang tidak dipublikasikan, misalnya skripsi, tesis atau disertasi yang ada di perpustakaan.

4.9 Daftar Pustaka

Achmadi, S.S. 1990. Kimia Kayu. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Pendidikan Tinggi Pusat Antar Universitas Ilmu Hayati IPB. Bogor.

Bowyer, J.L., R. Shmulsky., and J.G. Haygreen. 2003. *Forest Products and Wood Science: An Introduction*. IOWA State Press. USA.

Davin LB, Lewis NG. 2005. *Lignin primary structures and dirigent sites*. *Current Opinion in Biotechnol* 16 (4): 407–415.

Fengel D, Wegener G. 1995. Kimia Kayu, Ultrastruktur dan Reaksi-reaksi. Sastrohamidjojo H, penerjemah; Prawirohatmodjo S, editor. Yogyakarta: Gajah Mada University Press. Terjemahan dari *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*.

Hartati NS, Sudarmonowati E, Suharsono, Sofyan K. 2011. Analisis kuantitatif dan uji histokimia lignin sengon (*Paraserianthes falcataria*). *Widyariset*, Vol. 14, No.3, *Widyariset*, Vol. 14, No.3: 526-534.

Kasmudjo. 2010. Teknologi Hasil Hutan. Cakrawala Media. Yogyakarta.

Pari G. 1996. Analisis komponen kimia dari kayu sengon dan kayu karet pada beberapa macam umur. *Buletin Penelitian Hutan*. 14(8): 321-327.

Rowell, R. M. 2005. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. CRC Press. Florida

Supartini. 2009. Komponen Kimia Kayu Meranti Kuning (*Shorea macrobalanos)*. Jurnal Penelitian *Dipterokarpa,* Vol. 3 (1): 43-50.

Syafii W, Siregar IZ. 2006. Sifat Kimia dan Dimensi Serat Kayu Mangium. *Acacia mangium* Willd.) dari Tiga Provenans. *J. Tropical Wood Science & Technology*. 4(1): 28-32.

Verma SR. 2014. *Lignin genetic engineering for improvement of wood quality*: Applications in paper and textile industries, fodder and bioenergy production. South African Journal of Botany. Volume 91: 107– 125.

BAB 5. KADAR AIR KAYU

5.1 Sub-Capaian Pembelajaran Mata Kuliah

Mahasiswa mampu menjelaskan letak, macam dan pergerakan air di dalam kayu serta menghitung kadar air kayu

5.2 Skenario Pembelajaran

Materi ini dimulai dengan memberikan ceramah pengantar berisi materi yang diuraikan di bawah. Setelah itu, kegiatan dilanjutkan dalam bentuk diskusi kelompok atau penugasan mandiri dengan mengajukan pertanyaan pada bagian penugasan.

5.3 Materi Pembelajaran

5.3.1 Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering kali menemukan pintu atau jendela rumah yang terbuat dari kayu tidak dapat menutup rapat atau sempurna. Dan setelah ia tertutup, kita memerlukan tenaga ekstra untuk membukanya kembali. Peristiwa ini sering kita alami terutama di saat musim hujan. Padahal sebelumnya, pintu atau jendela tersebut dapat tertutup dengan mudahnya. Kejadian tersebut sebenarnya diakibatkan oleh aktivitas air yang berada di dalam kayu.

Telah dipahami bahwa pohon yang tumbuh pasti mengandung air di dalam daun, akar, dan terutama batangnya. Air bersama dengan karbon dioksida digunakan oleh pohon dalam proses fotosintesis untuk memproduksi glukosa dengan bantuan sinar matahari. Atau, secara sederhana dapat dikatakan bahwa pohon membutuhkan air untuk membuat makanannya. Oleh sebab itu, mustahil pohon dapat hidup tanpa adanya air.

Ketika pohon ditebang menjadi kayu bulat, kemudian diproses menjadi kayu gergajian, finir atau partikel, kayu akan mengalami kehilangan air secara perlahan. Pada titik tertentu, pelepasan sejumlah air oleh kayu akan diiringi dengan perubahan dimensi dan sifat fisiknya. Selanjutnya, kayu akan terus melepaskan air dan berhenti pada titik tertentu di mana kayu tidak lagi melepaskan air. Ini berarti bahwa air masih akan tetap berada dalam kayu meskipun kayu tersebut telah diolah menjadi produk.

Jumlah air yang dikandung oleh kayu akan mempengaruhi sifat fisik dan mekanis, ketahanan terhadap deteriorasi biologi dan stabilitas dimensi. Pada jumlah air tertentu, organisme perusak kayu seperti jamur pelapuk dapat tumbuh dengan baik di

dalam kayu dan memakan polimer penyusun dinding sel kayu. Oleh karena hampir semua sifat-sifat kayu dipengaruhi oleh air, maka penting untuk memahami bagaimana air di dalam kayu.

5.3.2 Air dalam Kayu

Jumlah air yang dikandung oleh kayu biasanya disebut kadar air. Kadar air adalah berat air yang dikandung oleh kayu yang dinyatakan dalam persen berat kayu kering tanur (Bowyer *etc*., 2003). Berat kayu kering tanur berarti berat yang dimiliki oleh kayu tanpa air lagi di dalamnya. Sebagai ilustrasi mengenai kadar air, pertama pahami bahwa setiap kayu memiliki air di dalamnya. Selanjutnya, bayangkan kayu dan air tersebut dipisahkan sehingga kita memiliki satu bagian air dan satu bagian kayu kering tanur. Jumlah air tersebut selanjutnya dihitung persentasinnya berdasarkan berat kayunya. Persentasi jumlah air terhadap berat kayu tersebut dinamakan sebagai kadar air. Jadi misalnya, berat air 5 g dan berat kayu 10 g, maka kadar airnya adalah 50%; berat air 1 g dan berat kayu 10 g, maka kadar air 10%; atau berat air 15 g dan berat kayu 10 g, maka kadar airnya 150%. Kadar air dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Kadar\ Air\ = \frac{B_a - B_{kt}}{B_{kt}} x\ 100\ \% \qquad (1)$$

di mana: B_a adalah berat kayu dengan air; dan B_{kt} adalah berat kayu kering tanur.

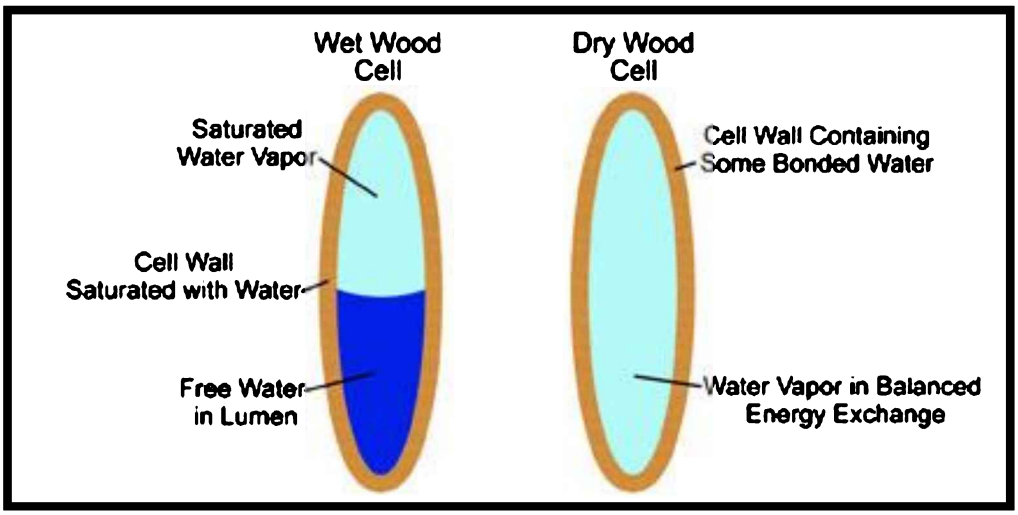
Berdasarkan contoh pertama di atas disebutkan bahwa berat air 5 g dan berat kayu 10 g. Ini berarti Ba adalah 15 g, dan Bkt adalah 10 g. Jika kadar air dihitung dengan persamaan di atas, maka hasilnya adalah sebagi berikut:

$$Kadar\ Air\ = \frac{15\ g - 10\ g}{10\ g} x\ 100\ \%$$

$$Kadar\ Air\ = \frac{5\ g}{10\ g} x\ 100\ \%$$

$$Kadar\ Air\ = 0{,}5\ x\ 100\ \% = 10\%$$

Pada kayu, air akan mengisi dinding maupun rongga sel dalam bentuk air terikat dan air bebas seperti diilustrasikan pada Gambar 1. Air terikat adalah air yang berada di dalam dinding sel sedangkan air bebas adalah air yang berada di dalam rongga sel. Air bebas merupakan air yang paling mudah hilang dan pertama kali keluar meninggalkan kayu. Sedangkan air terikat lebih sulit untuk dikeluarkan karena berikatan dengan polimer dinding sel, umumnya membentuk ikatan hidrogen.



Gambar 5.1. Ilustrasi letak air pada sebuah sel yang disebut air terikat dan air bebas.

Tabel 5.1. Kadar air kesetimbangan pada kondisi suhu dan kelembaban

Suhu	Kelembaban relative (%)								
°C	10	20	30	40	50	60	70	80	90
–1.1	2,6	4,6	6,3	7,9	9,5	11,3	13.5	16,5	21,0
4,4	2,6	4,6	6,3	7,9	9,5	11,3	13.5	16,5	21,0
10,0	2,6	4,6	6,3	7,9	9,5	11,2	13.4	16,4	20,9
15,6	2,5	4,6	6,2	7,8	9,4	11,1	13.3	16,2	20,7
21,1	2,5	4,5	6,2	7,7	9,2	11,0	13.1	16,0	20,5
26,7	2,4	4,4	6,1	7,6	9,1	10,8	12.9	15,7	20.2
32,2	2,3	4,3	5,9	7,4	8,9	10,5	12.6	15,4	19.8
37,8	2,3	4,2	5,8	7,2	8,7	10,3	12.3	15,1	19.5
43,3	2,2	4,0	5,6	7,0	8,4	10,0	12.0	14,7	19.1
48,9	2,1	3,9	5,4	6,8	8,2	9,7	11.7	14,4	18.6
54,4	2,0	3,7	5,2	6,6	7,9	9,4	11.3	14,0	18.2
60,0	1,9	3,6	5,0	6,3	7,7	9,1	11.0	13,6	17.7
65,6	1,8	3,4	4,8	6,1	7,4	8,8	10.6	13,1	17.2
71,1	1,6	3,2	4,6	5,8	7,1	8,5	10.3	12,7	16.7
76,7	1,5	3,0	4,3	5,6	6,8	8,2	9.9	12,3	16.2
82,2	1,4	2,8	4,1	5,3	6,5	7,8	9.5	11,8	15.7
87,8	1,3	2,6	3,8	5,0	6,1	7,5	9.1	11,4	15.1
93,3	1,1	2,4	3,5	4,6	5,8	7,1	8.7	10,9	14.6
98,9	1,0	2,1	3,2	4,3	5,4	6,7	8.3	10,4	14.0
104,4	0,9	1,9	2,9	3,9	5,0	6,3	7.8	9,9	
110,0	0,8	1,6	2,6	3,6	4,7	6,0			
115,6	0,6	1,3	2,1	3,1	4,1				
121,1	0,4	1,0	1,7	2,5					
126,7	0,3	0,7	1,1						

Sumber: Forest Product Laboratory, 2010

Keberadaan air terikat dan air bebas di dalam kayu sangat dipengaruhi oleh suhu maupun kelembaban. Perubahan suhu dan kelembaban menyebabkan kayu akan melepas atau menyerap air. Olehnya itu, kayu dikenal dengan sifat higroskopisnya.

Pengaruh suhu dan kelembaban terutama terhadap air terikat dapat menyebabkan terjadi perubahan pada sifat-sifat kayu.

Dari Tabel 1 dapat dilihat bagaimana suhu dan kelembaban mempengaruhi kadar air di dalam kayu. Sebagai contoh saat suhu lingkungan adalah 26,7°C dan kelembaban adalah 90% maka kadar air kayu adalah 20,2%. Namun ketika kelembaban turun 10% menjadi 80%, kadar air kayu pun akan mengalami penurunan menjadi 15,5%. Penurunan kadar air tersebut menunjukkan bahwa kayu telah melepaskan air.

Demikian pula halnya jika suhu yang mengalami perubahan, di saat suhu menurun menjadi 21,1°C dengan kelembaban yang sama yakni 90%, kadar air mengalami peningkatan menjadi 20,5%. Penurunan suhu menyebabkan kadar air kayu meningkat yang menandakan bahwa kayu telah menyerap air. Namun dibandingkan dengan suhu, peningkatan atau penurunan kelembaban menunjukkan perubahan kadar air yang jauh lebih besar.

Untuk memudahkan dalam memahami pergerakan air dalam kayu (air yang dilepas dan diserap), maka keberadaan air terikat dan air bebas dalam sel kayu dapat dikategorikan ke dalam 4 (empat) bentuk kondisi, yakni segar, titik jenuh serat, kering udara dan kering tanur. Kondisi segar dan kering udara adalah dua bentuk yang paling sering dijumpai. Berbeda dengan kering tanur, untuk mendapatkan kondisi ini kayu harus diberi perlakuan pengovenan hingga seluruh airnya keluar. Sedangkan kondisi titik jenuh serat adalah fase di antara kondisi segar dan kondisi kering udara.

5.3.2.1 Kondisi segar

Kondisi segar biasanya diperoleh ketika pohon baru saja ditebang atau dipanen. Pada kondisi ini, air bebas masih mengisi rongga sel meskipun tidak sampai jenuh. Selain itu, air juga ditemukan dalam bentuk uap pada permukaan rongga sel. Menurut Forest Product Laboratory (2010), kadar air kayu segar berada dalam kisaran 30% hingga lebih 200%. Kadar air segar kayu daun jarum pada kayu gubal lebih tinggi dibandingkan dengan pada kayu teras. Pada kayu daun lebar segar, perbedaan kadar air pada kayu gubal dan terasnya tergantung pada jenisnya seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 5.2. Rata-rata kadar air kayu segar beberapa spesies

Jenis	Kadar Air (%)		Jenis	Kadar Air (%)	
	Teras	Gubal		Teras	Gubal
Kayu daun lebar			**Kayu daun jarum**		
Ash, white	46	44	Cedar, western red	58	249
Aspen	95	113	Cedar, yellow	32	166
Basswood, American	81	133	Douglas-fir, coast type	37	115
Beech, American	55	72	Fir, balsam	88	173
Birch, paper	89	72	Fir, grand	91	136
Birch, sweet	75	70	Fir, noble	34	115
Birch, yellow	74	72	Fir, Pacific silver	55	164
Cottonwood	162	146	Hemlock, western	85	170
Hickory, bitternut	80	54	Pine, ponderosa	40	148
Hickory, mockernut	70	52	Pine, red	32	134
Hickory, pignut	71	49	Pine, shortleaf	32	122
Hickory, red	69	52	Pine, sugar	98	219
Hickory, sand	68	50	Pine, western white	62	148
Hickory, water	97	62	Redwood, old growth	86	210
Magnolia	80	104	Spruce, black	52	113
Maple, silver	58	97	Spruce, Engelmann	51	173
Maple, sugar	65	72	Spruce, Sitka	41	142

Sumber: Forest Product Laboratory, 2010

5.3.2.2 Kondisi Kering udara

Apabila kayu dalam kondisi segar diekspos atau dibiarkan pada lingkungan terbuka selama berbulan-bulan atau mungkin bertahun-tahun, dengan catatan kayu tidak terkena air langsung seperti air hujan, maka kayu akan melepaskan air hingga mencapai kondisi seimbang dengan lingkungannya, yakni suhu dan kelembaban. Pada kondisi ini, kayu telah kehilangan semua air bebasnya, rongga sel telah kosong dari air. Sedangkan dinding sel juga tidak jenuh lagi, beberapa air terikat juga telah keluar meninggalkan dinding sel. Kadar air kering udara sering juga disebut kadar air keseimbangan di mana kayu tidak mengalami peningkatan atau penurunan air lagi, kecuali jika suhu dan kelembaban mengalami perubahan.

5.3.2.3 Kondisi titik jenuh serat

Kondisi dimana air bebas dalam rongga sel telah keluar semuanya, sedangkan air dalam dinding sel masih dalam kondisi jenuh dinamakan kondisi titik jenuh serat. Kondisi ini berada di antara kondisi segar dan kondisi kering udara. Ketika kayu segar melepaskan air akibat berinteraksi dengan lingkungan untuk mencapai kondisi kering udara, ia akan melewati fase titik jenuh serat. Pada kondisi segar menuju kondisi titik jenuh serat, kayu mengalami kehilangan berat. Sedangkan kayu yang melepaskan air dari kondisi titik jenuh serat ke kering udara akan mengalami kehilangan berat dan perubahan dimensi atau menyusut diakibatkan keluarnya air terikat.

Menurut Forest Product Laboratory (2010), kadar air kondisi titik jenuh serat rata-rata 30%, namun mungkin bervariasi pada satu jenis kayu atau potongan kayu. Hal tersebut berbeda dari penelitian yang dilakukan oleh Harijadi (2009), seperti yang disajikan pada Tabel 3, dimana kadar air titik jenuh serat yang diperoleh dari pengamatan 5 jenis kayu Indonesia memiliki nilai yang lebih rendah dari angka 30%.

Tabel 5.3. Kadar air titik jenuh serat dari 5 (lima) jenis kayu Indonesia

Jenis Kayu	KA-TJS (%)
Paraserianthes falcataria	22.86
Gmelina arborea	18.36
Arthocarpus heterophyllus	15.23
Maesopsis eminii	19.06
Acacia mangium	22.92

Sumber: Harijadi, 2009

5.3.2.4 Kondisi kering tanur

Kondisi kering tanur diperoleh apabila tidak terdapat lagi air terikat dan air bebas pada kayu. Untuk mencapai kondisi ini, kayu mesti diberi perlakuan khusus yakni dikeringkan dalam oven pada suhu 103$\pm$ 2°C selama 24 jam. Biasanya kayu kondisi kering tanur digunakan pada kegiatan penelitian dimana kayu yang dikeringkan adalah kayu berukuran kecil. Untuk memastikan kayu telah mencapai kondisi kering tanur adalah dengan melakukan penimbangan berat berulang dari sampel yang dikeringkan. Apabila berat kayu telah konstan, maka dapat dikatakan bahwa kayu telah mencapai kondisi kering tanur.

Dari uraian di atas maka terjawab penyebab pintu yang tidak dapat ditutup atau dibuka saat musim hujan. Kayu yang digunakan sebagai pintu atau jendela adalah kayu yang berada dalam kondisi kering udara. Ketika musim hujan datang kelembaban udara meningkat. Hal ini menyebabkan kayu akan menyerap air dan mengisi kembali dinding sel sehingga kayu mengembang. Karena ukurannya menjadi lebih besar dari dimensi semula maka pintu atau jendela tidak bisa ditutup seperti biasanya.

5.3.3 Kesimpulan

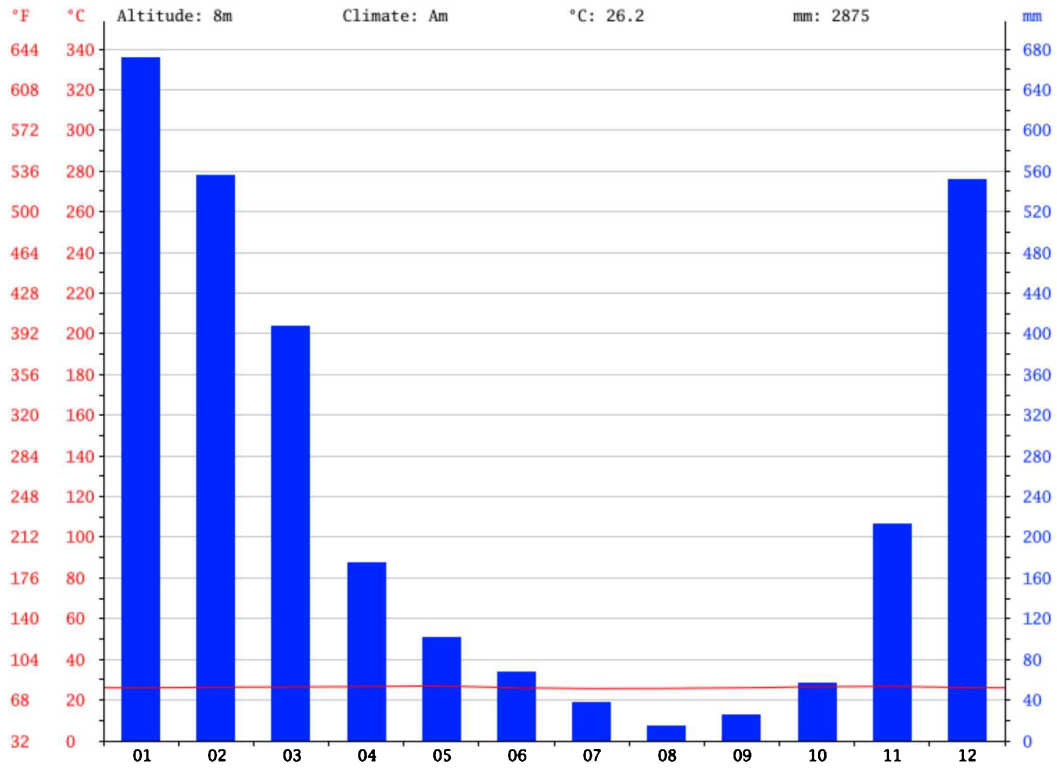
Berdasarkan uraian di atas maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Air dalam kayu terletak pada dua tempat, yakni di dalam dinding sel disebut air terikat dan di dalam rongga sel atau disebut air bebas.
2. Kayu bersifat higroskopis, yakni dapat menyerap atau melepaskan air.
3. Ada empat kondisi kayu berdasarkan komposisi air terikat dan air bebasnya, yakni, segar, titik jenuh serat, kering udara dan kering tanur.
4. Setiap kayu akan berakhir pada kondisi kering udara di mana kondisi air kayu berada dalam keadaan setimbang dengan lingkungannya. Kadar air dalam kondisi kering udara akan berbeda-beda tiap kali terjadi perubahan suhu dan kelembaban lingkungannya.

5.4 Penugasan

Setelah membaca materi, peserta mata kuliah diminta untuk menjawab soal sebagai berikut di bawah. Pertanyaan ini dapat dijawab secara mandiri, atau didiskusikan berkelompok.

1. Apakah kayu yang telah dilapisi dengan cat masih memiliki air? Jelaskan!
2. Jelaskan maksud dari sepotong kayu memiliki kadar air 120%!
3. Bagaimana keadaan air terikat dan air bebas pada kayu dengan kondisi sebagai berikut:
    a. Kering tanur
    b. Kering udara
    c. Titik jenuh serat
    d. Segar
4. Jika sebuah kayu memiliki kadar air 45% dan berat 8 g, maka kayu ini berada pada kondisi apa dan berapa berat kayu ketika ia tidak memiliki air?
5. Sepotong kayu berukuran 2 cm x 3 cm x 4 m memiliki kadar air 45%. Coba uraikan secara rinci pergerakan air di dalam kayu sebagai bentuk interaksinya dengan lingkungan dalam rentang waktu 7 bulan (dari bulan Juni-Desember) berdasarkan data curah hujan di bawah.



Gambar 5.2. Data curah hujan dalam setahun

5.5 Strategi dalam merespon penugasan, tips dan kisi-kisi

Untuk dapat menjawab tugas dengan tepat dan tuntas, maka peserta mata kuliah harus memahami pergerakan air di dalam kayu yang melibatkan air terikat dan air bebas dalam empat kondisi, yakni segar, titik jenuh serat, kering udara, dan kering tanur. Anda dapat saja memberikan contoh-contoh kasus untuk membantu dalam menjawab tiap pertanyaan, seperti mencontohkan kayu memiliki berat ataupun kadar air terentu.

5.6 Daftar Pustaka

Bowyer JL, Shmulsky R, dan Haygreen JG. 2003. Forest Products and Wood Science. An Intoduction. Fourth Edition. Iowa State Press, United State of America.

Forest Products Laboratory. 2010. Wood handbook—Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S.

Harijadi AR. 2009. Kadar Air Titik Jenuh Serat Beberapa Jenis Kayu Perdagangan Indonesia. [Skiripsi] Institut Pertanian Bogor, IPB.

BAB 6. PERUBAHAN DIMENSI KAYU

6.1 Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK1)

CPMK 2 "Mampu menganalisis dan menyesuaikan potensi penggunaan kayu sesuai dengan karakteristik yang dimiliki" (CPL5). CPMK 2 ini mendukung Capaian Pembelajaran Lulusan 5 (CPL5) dari Program Studi Kehutanan yaitu "Mampu mendemonstrasikan prinsip-prinsip pengolahan dan pemanfaatan hasil hutan"

6.2 Sub-CMPK

Sub-CMPK 6 Mampu menjelaskan dan menghitung perubahan dimensi yang terjadi pada kayu dan menghubungkannya dengan penggunaan kayu
(CPMK2); CPL-5.

6.3 Strategi/Metode/media pembelajaran

Strategi atau metode pembelajaran yang digunakan berupa metode luring dan metode daring. Metode luring yaitu kuliah, praktikum dan diskusi kelompok, sementara metode daring adalah mencari materi pembelajaran secara on line, mendownload materi pembelajaran dari SIKOLA serta mengupload tugas yang diberikan ke SIKOLA.

6.4 Indikator penilaian

1. Ketepatan menjelaskan dan menghitung besarnya perubahan dimensi
2. Ketepatan menjelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan dimensi
3. Ketepatan menjelaskan usaha-usaha yang dapat dilakukan untuk menghambat/memperkecil perubahan dimensi kayu.

6.5 Bobot penilaian

Bobot penilaian pada materi pada minggu keduabelas, sebesar 15 %

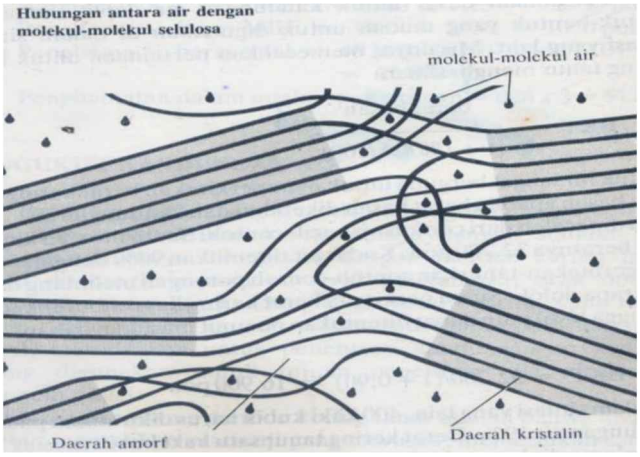
6.6 Materi Pembelajaran

6.6.1 Perubahan Dimensi Kayu

Perubahan dimensi kayu yaitu penyusutan dan pengembangan terjadi pada kayu karena adanya pergerakan air di dalam kayu. Pergerakan air menyebabkan terjadi penambahan ke dalam dinding sel sehingga mikrofibril di dinding sel menjadi

mengembang. Besarnya perubahan ini sama dengan banyaknya zat cair yang masuk ke dalam dinding sel. Perubahan dimensi terjadi jika air terikat mulai keluar dari dinding sel atau kondisi kadar air dibawah titik jenuh serat. Perubahan ini dinamakan penyusutan, sedangkan pengembangan jika air mulai masuk ke dalam dinding sel.

Penyusutan kayu terjadi ketika molekul air terlepas dari ikatan hydrogen antara air dan gugus hidroksil dari rantai selulosa dan hemiselulosa. Gugus hidroksil yang telah bebeas dari molekul air kemudian saling berikatan membentuk ikatan selulosa dengan selulosa atau selulosa dengan hemiselulosa (Prawiroharmojo, 2004). Gambar menunjukkan molekul-molekul air yang masuk ke daerah amorf pada susunan mikrofibril di dalam dinding sel.



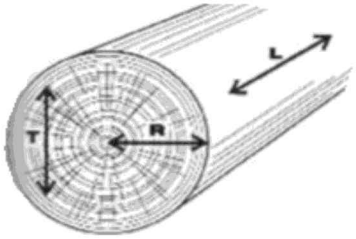
Gambar 6.1. Hubungan antara air dengan molekul-molekul selulosa

Perubahan dimensi sebagian besar berlangsung pada arah transversal kayu karena lapisan S2 dinding sekunder jauh lebih tebal dan orientasi mikrofibrilnya hampir sejajar dengan sumbu panjang sel. Sementara kayu reaksi dan kayu abnormal perubahan dimensi besar pada arah longitudinal karena lapisan S2 dinding sekundernya memiliki sudut mikrofibrilnya yang besar. Pada saat kayu kehilangan air, terjadi pemendekan sel atau terjadi penyusutan longitudinal yang cukup tinggi, sekitar 3 % dari kondisi titik jenuh serat ke kering tanur.

Penyusutan berbeda akan terjadi pada jenis kayu yang sama walaupun diuji pada kondisi yang sama. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu :

1. Ukuran dan orientasi serat dalam potongan dan keseragaman kadar air kayu.
2. Kerapatan yang tinggi memiliki penyusutan yang besar
3. Laju pengeringan sampel.

Perbedaan penyusutan pada arah longitudinal 0,1 – 0,2 %, arah radial 2 – 3 %, arah tangensial dua kali arah radial. Penyusutan tangensial lebih besar daripada penyusutan radial karena struktur anatomi kayu. Adanya jaringan jari-jari, pernoktahan pada dinding radial, proporsi kayu akhir pada arah tangensial, perbedaan jumlah zat dinding sel radial dan tangensial. Perbandingan antara penyusutan tangensial dan radial (t/r) berkisar 1,4 sampai > 2 (untuk kayu yang tumbuh di amerika). t/r yang rendah dan perubahan dimensi arah radial yang rendah berarti kayu tersebut memiliki kestabilan dimensi yang baik. Gambar menunjukkan arah penyusutan dan pengembangan kayu.



Gambar 6.2. Arah penyusutan kayu

Beberapa teori menjelaskan kenapa penyusutan radial berbeda dengan penyusutan tangensial, antara lain :

1. Teori interaksi kayu awal – kayu akhir

   Perbedaan tebal dinding sel dan arah mikrofibril lapisan S2 pada kayu awal dan kayu akhir 3 % lapisan S2 pada dinding sel kayu akhir tinggi dan kayu awal rendah. Perubahan dimensi tangensial dikendalikan oleh perubahan dalam kayu akhir. Perubahan dimensi radial < tangensial karena rendahnya komponen kayu awal secara total.

2. Teori penahanan jari-jari

   Tidak semua perbedaan perubahan dimensi radial dan tangensial dapat dijelaskan oleh teori ini. Perbedaan disebabkan adanya jari-jari yang menahan kayu awal yang relatif lemah sehingga mengurangi perubahan dimensi radial. Perbedaan t/r ratio kayu yang memiliki jari-jari besar dan dinding sel longitudinal tipis

3. Teori lainnya

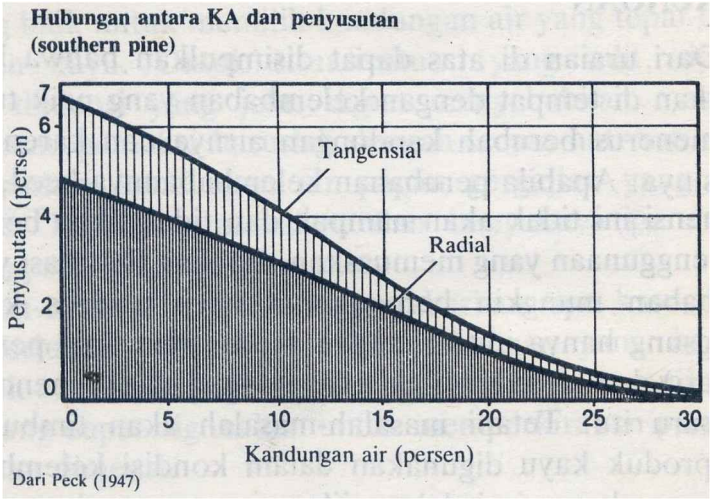
   Kadar lignin pada dinding radial lebih tinggi daripada dinding tangensial. Perbedaan sudut mikrofibril dalam dinding sel. Dinding radial arah mikrofibril membentuk sudut lebih kecil daripada dinding tangensial.

6.6.2 Faktor-faktor yg mempengaruhi penyusutan dan pengembangan

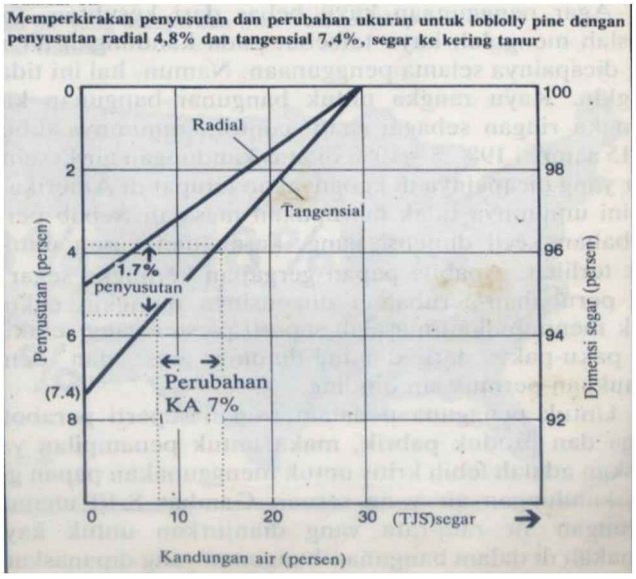
Penyusutan dan pengembangan kayu dipengaruhi oleh beberapa faktor, beberapa diantaranya adalah :

1. Kadar air
2. Kerapatan
3. Struktur Anatomi
4. Ekstraktif
5. Komponen kimia
6. Kekuatan kayu

Hubungan antara kadar air dan penyusutan dapat dilihat pada Gambar . Semakin tinggi kadar air, semakin rendah penyusutan kayu yang terjadi.

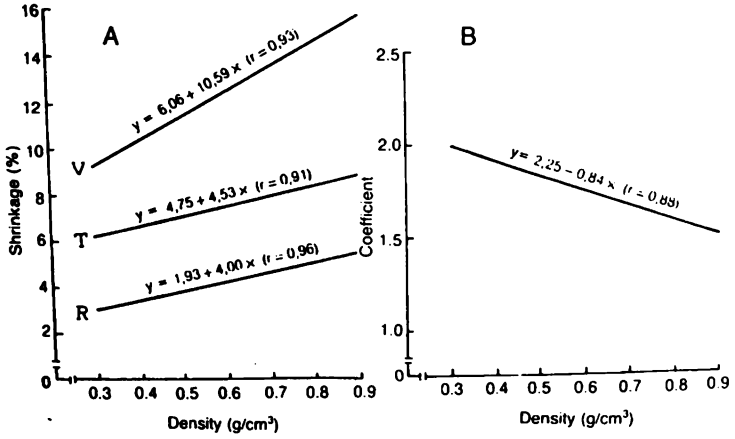


Gambar 6.3. Hubungan Penyusutan dengan Kadar Air



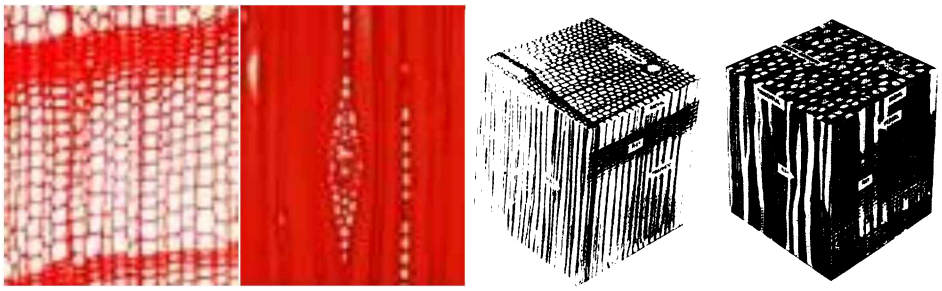
Gambar 6.4. Hubungan Penyusutan dengan Perubahan Kadar Air

Selain kadar air, kerapatan juga mempengaruhi penyusutan kayu. Gambar menunjukkan perubahan penyusutan akibat kerapatan kayu yang berbeda. Semakin tinggi kerapatan kayu, penyusutan yang terjadi semakin tinggi, demikian sebaliknya.



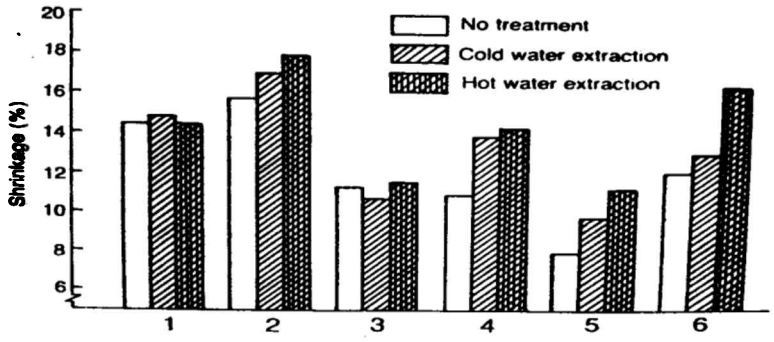
Gambar 6.5. Hubungan Penyusutan dan Kerapatan

Struktur anatomi juga mempengaruhi penyusutan dan pengembangan kayu. Perbedaan antara kayu daun jarum dan kayu daun awal serta proporsi kayu awal dan kayu akhir membedakan penyusutan antar jenis kayu. Kayu awal yang memiliki rongga yang luas dan dinding sel yang tipis memiliki penyusutan lebih rendah dibandingkan kayu akhir. Demikian juga dengan bagian radial dimana terdapat jari-jari, yang memiliki kembang susut yang tinggi.



Gambar 6.6. Struktur Anatomi Kayu Daun Lebar dan Kayu Daun Jarum

Faktor lainnya yang mempengaruhi penyusutan kayu adalah komponen kimia kayu, terutama ekstraktif. Meningkatnya kandungan ekstraktif akan menurunkan perubahan dimensi, lain halnya dengan kandungan lignin yang menurun dengan meningkatnya kerapatan atau penyusutan yang rendah. Kayu daun lebar penyusutannya lebih besar dibandingkan kayu daun jarum pada kerapatan yang sama karena lignin kayu daun lebar yang rendah.



Gambar 6.7. Hubungan antara Penyusutan dengan Ekstraktif Kayu

6.7 Tugas/Kasus :

- Mahasiswa membuat tabel hubungan penyusutan dan pengembangan dari beberapa jenis kayu komersial dengan sifat-sifat kayu lainnya
- Mahasiswa menyelesaikan soal-soal hitungan penyusutan dan pengembangan yang diberikan

6.8 Bahan Bacaan Pengayaan

Bahan bacaan untuk pengayaan bagian pembelajaran ini bisa diperoleh dari jurnal-jurnal yang berkaitan dengan penelitian sifat dasar kayu.

6.9 Daftar Pustaka

Bowyer JL, Shmulsky R, Haygreen JG. 2003. *Forest Products and Wood Science*. An Introduction. Fourth Edition. USA: IOWA State Press.

Panshin AJ, de Zeeuw C. 1980. *Textbook of Wood Technology*. Vol. I. London: McGraw Hill Book Co. N.Y.

Prawirohatmojo, S., 2004. Sifat-Sifat Fisika Kayu. Bagian Penerbitan, Fakultas Kehutanan. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Tsoumis, G. 1991. *Science and Technology of Wood. Structure, Properties, Utilization.* New York: Van Nostrand Reinhold.

BAB 7. BERAT JENIS DAN KERAPATAN KAYU

7.1 Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK1)

CPMK 1 "Mampu memahami secara utuh kayu sebagai produk hasil hutan". CPMK 1 ini mendukung Capaian Pembelajaran Lulusan 2 (CPL2) dari Program Studi Kehutanan yaitu "Mampu menginternalisasi etika professional rimbawan antara lain integritas dan bertanggung jawab, peduli terhadap lingkungan, serta sikap kepemimpinan yang demokratis"

7.2 Sub-CMPK

Sub-CPMK 5 Mampu menjelaskan pengertian, faktorfaktor yangmempengaruhi dan mendemonstrasikan metode pengukuran berat jenis dan kerapatan (CMPK1); CPL-2.

7.3 Strategi/Metode/media pembelajaran

Strategi atau metode pembelajaran yang digunakan berupa metode luring dan metode daring. Metode luring yaitu kuliah, praktikum dan diskusi kelompok, sementara metode daring adalah mencari materi pembelajaran secara on line, mendownload materi pembelajaran dari SIKOLA serta mengupload tugas yang diberikan ke SIKOLA.

7.4 Indikator penilaian

1. Ketepatan dalam mendeskripsikan kerapatan dan berat jenis kayu
2. Ketepatan menghitung kerapatan dan berat jenis kayu pada berbagai kondisi

7.5 Bobot penilaian

Bobot penilaian pada materi pada minggu ke sepuluh dan sebelas sebesar 10%

7.6 Materi Pembelajaran

7.6.1 Berat Jenis dan Kerapatan Kayu

Kayu umumnya memiliki beberapa sifat yang tidak dimiliki oleh bahan lain, sehingga membuat kayu dapat digunakan pada berbagai peruntukan. Sifat umum kayu antara lain:

1. Tersusun dari berbagai tipe sel

2. Bersifat anisotropic
3. Bersifat higroskopik
4. Dapat diserang oleh organisme perusak kayu
5. Mudah terbakar

Secara umum sifat-sifat kayu dipengaruhi oleh berat jenis dan kerapatan kayu. Berat jenis di defenisikan sbg perbandingan kerapatan kayu (berdasarkan berat kering tanur dan volume pada kadar air tertentu) dengan kerapatan air pada suhu 4 ^{0}C, sedangkan kerapatan di defenisikan sbg perbandingan massa kayu dengan volume masing-masing pada kondisi kadar air tertentu. Dimana kerapatan air = 62,4 lb/ft3, 1 g/cm3, 1000 kg/m3.

Berbagai pendapat menyatakan berat jenis dan kerapatan sama, tetapi sebagian ilmuwan menyatakan berbeda, menurut penulis perbedaan berat jenis dan kerapatan kayu adalah :

1. Berat jenis tidak mempunyai satuan, sedangkan kerapatan mempunyai satuan (g/cm3).
2. Berat jenis selalu berdasarkan berat kering tanur sedangkan kerapatan beratnya tergantung kondisi.

Sedangkan persamaan dari berat jenis dan kerapatan adalah Pada kondisi tertentu (kering tanur) berat jenis dan kerapatan nilainya sama. Berat jenis dan kerapatan kayu berkisar 0,2 (kayu balsa) sampai dengan 1,28 (kayu nani).

7.6.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi berat jenis dan kerapatan kayu

Hubungan berat jenis dan kerapatan kayu dengan sifat kayu lainnya, antara lain mempengaruhi kekuatan dan kekakuan kayu, rendemen pulp per satuan volume, sifat transmisi panas kayu, panas per satuan volume, perubahan dimensi walaupun tidak langsung, porositas yaitu proposi volume rongga. Sebagaimana kita ketahui rumus persentase volume rongga adalah :

$$\% \text{ volume rongga} = (1 - bj_{kt} / 1{,}5) \times 100$$

Dimana kita ketahui berat jenis dinding sel berkisar 1,45 – 1,54 dengan rata-rata 1,5
Beberapa sifat kayu lainnya yang mempengaruhi berat jenis dan kerapatan kayu, antara lain:

1. Kadar air,

   Jika kadar air di atas titik jenuh serat, berat jenis kering udara bertambah dengan berkurangnya kadar air. Berat jenis bertambah jika kadar air yang dijadikan dasar adalah di bawah titik jenuh serat.

2. Struktur anatomi

   Secara mikroskopis yaitu tipe sel (trakeid, pembuluh, parenkim), tebal dinding sel dan ukuran rongga sel, proporsi sel dapat mempengaruhi berat jenis dan kerapatan kayu. Secara makroskopis : lingkaran tumbuh, proporsi kayu akhir dan kayu akhir.

3. Ekstraktif

   Bahan-bahan yang berinfiltrasi di dalam rongga sel seperti gums, fats, resins, oils, tannins, alkaloids dapat mempengaruhi berat jenis dan kerapatan kayu. Jumlah ekstraktif yang banyak akan meningkatkan berat jenis dan kerapatan kayu. Oleh karena itu berat jenis dan kerapatan kayu teras lebih tinggi daripada kayu gubal.

4. Komponen kimia

   Setiap komponen kimia dalam dinding sel mempunyai kerapatan yang berbeda. Sebagai contoh : Pine wood, α sellulose mempunyai kerapatan 1,528 g/cm^3 dan lignin 1,335 g/cm^3. Variasi kadar sellulose 40 % - 45 %, sementara lignin 17 % - 35 %. Sehingga variasi berat jenis dan kerapatan kayu dapat bervariasi tergantung kadar komponen kimia dan kerapatan komponen kimia yang dikandungnya.

Klasifikasi kelas berat dan kuat kayu dibagi berdasarkan berat jenisnya (Oe Jen), seperti pada Tabel :

Tabel 7.1. Kelas Berat Kayu

Kelas Berat Kayu	Berat Jenis Kayu
Sangat Berat	➢ 0.9
Berat	0.9 – 0.75
Agak Berat	0.75 – 0.6
Ringan	< 0.6

Tabel 7.2. Kelas Kuat Kayu

Kelas Kuat	Berat Jenis	Keteguhan lengkung	Keteguhan tekan
I	➢ 0.9	➢ 1100	➢ 650
II	0.90 – 0.60	1100 - 725	650 - 425
III	0.60 – 0.40	725 - 500	425 – 300
IV	0.40 – 0.30	500 - 360	300 – 215
V	< 0.30	< 360	< 215

Kualitas arang juga dipengaruhi oleh berat jenis dan kerapatan kayu. Tabel menunjukkan hubungan antara berat jenis dan kerapatan kayu dengan nilai bakar dan kwalitas arang kayu. Makin tinggi berat jenis dan kerapatan kayu, makin bagus kayu tersebut dijadikan bahan baku arang karena memiliki nilai bakar yang tinggi.

Tabel 7.3. Kwalitas Arang Kayu berdasarkan Berat Jenis Kayu

Kelas	Kriteria	Berat Jenis
I	Istimewa	➢ 0.90
II	Amat Baik	0.75 – 0.90
III	Baik	0.60 – 0.75
IV	Sedang	0.45 – 0.60
V	Jelek	< 0.45

Sifat lainnya yang bisa kita lihat yaitu hubungan berat jenis dengan keawetan, tetapi hubungan ini lebih ke pertambahan berat yang diakibatkan oleh ekstraktif. Jenis kayu tertentu yang mempunyai kerapatan yang tinggi memiliki banyak ekstraktif yang bersifat mengawetkan. Berat jenis dan kerapatan kayu sangat relative terhadap keawetan kayu, jika kayu tersebut mengandung ekstraktif yang bersifat racun maka kayu tersebut awet, demikian sebaliknya, tidak berhubungan dengan berat jenis dan kerapatan kayu.

7.6.3 Metode Penentuan Berat Jenis dan Kerapatan Kayu

Berat jenis ditentukan oleh volume pada kadar air pada kondisi tertentu dan berat kayu kering tanur. Volume kayu dapat diperoleh dengan berbagai cara, salah satu dengan cara pencelupan. Penentuan volume dengan cara menimbang sebelum dan sesudah pencelupan atau dengan cara perbedaan ketinggian air pada skala silinder. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung berat jenis dan kerapatan kayu adalah :

$$\text{Berat Jenis} = \frac{\text{Kerapatan Bahan}}{\text{Kerapatan Air}}$$

$$\text{Berat Jenis} = \frac{\text{BKT (g) / Vol (cm}^3\text{)}}{\text{1 (g/cm}^{3)}}$$

$$\text{Berat Jenis} = \frac{\text{BKT}}{\text{Volume}}$$

$$\text{Oven Dry Density} = \frac{\text{Oven Dry Weight}}{\text{Oven Dry Volume}}$$

$$\text{Basic Density} = \frac{\text{Oven Dry Weight}}{\text{Fully Swollen Volume}}$$

$$\text{Air Dry Density} = \frac{\text{Air Dry Weight}}{\text{Air Dry Volume}}$$

Apparent density = x moisture content

7.7 Tugas/Kasus :

- Mahasiswa mendeskripsikan perbedaan dan persamaan kerapatan dan berat jenis kayu
- Mahasiswa mengklasifikasikan berat jenis dan kerapatan dari berbagai jenis kayu-kayu komersial yang sering ditemukan di industry-industri pengolahan hasil hutan.
- Mahasiswa menghitung berat jenis dan kerapatan pada berbagai kondisi kadar air kayu.

7.8 Bahan Bacaan Pengayaan

Bahan bacaan untuk pengayaan bagian pembelajaran ini bisa diperoleh dari jurnal-jurnal yang berkaitan dengan penelitian sifat dasar kayu.

7.9 Daftar Pustaka

Bowyer JL, Shmulsky R, Haygreen JG. 2003. *Forest Products and Wood Science*. An Introduction. Fourth Edition. USA: IOWA State Press.

Dumanauw, J.F., 1990. Mengenal Kayu. Pendidikan Industri Kayu Atas. Semarang.

Panshin AJ, de Zeeuw C. 1980. *Textbook of Wood Technology*. Vol. I. London: McGraw Hill Book Co. N.Y.

Tsoumis, G. 1991. *Science and Technology of Wood. Structure, Properties, Utilization.* New York: Van Nostrand Reinhold.

BAB 8. SIFAT MEKANIS KAYU

8.1 Sub-Capaian Pembelajaran Mata Kuliah

Mahasiswa mampu menjelaskan konsep dan menghitung tegangan dan regangan

8.2 Skenario Pembelajaran

Kuliah diawali dengan penyajian materi, lalu dilanjutkan dengan mengerjakan soal dalam bagian penugasan. Sebelum mengerjakan soal, pastikan mahasiswa telah memahami konsep dan perhitungan tegangan dan regangan dengan mengulang-ulang contoh soal yang ada. Setelah itu, lanjutkan kuliah dengan diskusi dengan pertanyaan pada bagian penugasan.

8.3 Materi

8.3.1 Pendahuluan

Kamu mungkin pernah melewati selokan atau saluran pembuangan air yang lebarnya lebih panjang dari satu langkah kakimu. Agar dapat melewatinya, maka dua tepi selokan tersebut dihubungkan dengan papan kayu. Coba kamu bayangkan, lebar selokan tersebut adalah 80 cm, dan orang memasang papan kayu sengon berukuran 20 cm x 1,5 cm sepanjang 1,5 m sebagai jembatan.

Apabila papan dilalui oleh seorang anak berusia SD, maka papan tersebut dapat menopang beratnya tanpa mengalami kerusakan. Namun, ketika tiga anak SD melaluinya secara bersamaan, maka seketika terdengar suara retak pada papan. Ini menandakan bahwa papan telah mengalami kerusakan. Dua puluh meter dari papan itu, ada jembatan lain dengan ukuran yang sama namun terbuat dari kayu bayam. Tiga anak usia SD juga berjalan secara bersamaan di atas jembatan ini, namun sama sekali tidak terdengar suara rekat atau kerusakan pada papan dari kayu bayam ini.

Peristiwa ini menunjukkan bahwa tiap material kayu memiliki kekuatan dan ketahanan yang berbeda dalam menahan beban yang mengenainya. Kayu bayam, sebagaimana diceritakan di atas, memiliki kemampuan yang lebih baik dalam memikul beban dibandingkan dengan kayu sengon. Ketika dikenai beban yang sama, kayu sengon telah mengalami retak dan sementara kayu bayam belum mengalami kerusakan.

Ukuran kekuatan dan ketahanan kayu terhadap gaya atau beban dari luar yang cenderung mengubah bentuk kayu ini disebut dengan sifat mekanis. Kekuatan adalah kemampuan kayu untuk memikul beban atau gaya yang mengenainya. Sementara, ketahanan maksudnya adalah kayu mampu menahan terjadinya perubahan bentuk seperti pemampatan, pemanjangan, pemutiran, atau pelengkungan akibat dari beban yang mengenainya.

Contoh jembatan papan kayu di atas adalah kasus sederhana berkaitan dengan sifat mekanis kayu. Pada kasus yang lebih kompleks dapat kita temukan pada bangunan, seperti rumah kayu atau rumah batu namun bagian atapnya menggunakan bahan dari kayu, dan juga jembatan kayu yang bahkan dirancang untuk dilalui oleh kendaraan roda empat. Berdasarkan beban yang bekerja pada bangunan, bagian bangunan dapat dikategorikan menjadi dua yakni bagian struktural dan bagian nonstruktrual. Bagian struktural adalah bagian yang mengalami pembebanan, sedangkan bagian nonstruktural adalah bagian yang tidak mengalami pembebanan.

Pada bagian struktural bangunan akan selalu mengalami pembebanan, seperti beban tekan, tarik, geser, ataupun lentur. Beban tersebut dapat berkerja sendiri dan kadang-kadang terjadi bersamaan atau bergantian. Tentu saja kita berharap, apabila beban tersebut terjadi, maka tidak akan menimbulkan kerusakan pada kayu yang berakibat bangunan menjadi ambruk atau hancur. Beban-beban ini sama sekali tidak dapat dihindari, sehingga harus ditopang dengan menggunakan kayu yang sesuai.

Oleh karena itu, menjadi sangat penting untuk mengetahui sifat mekanis setiap kayu agar dapat digunakan sesuai dengan kualifikasi kekutanan yang dipersyaratkan atau dituntut oleh suatu bangunan. Beberapa sifat mekanis kayu yang penting, antara lain kekuatan tarik, kekutana tekan, kekuatan geser, kekuatan lentur, modulus elastisitas, keteguhan belah, keuletan, dan kekerasan.

8.3.2 Konsep Tegangan dan Regangan

Pada cerita jembatan di atas, ada dua peristiwa terjadi pada papan, yaitu tegangan dan regangan. Tegangan atau *stress* adalah gaya atau beban yang tersebar pada luas penampang tertentu dari benda. Sementara itu, gaya adalah setiap aksi yang cenderung memindahkan benda yang sedang diam, mengubah bentuk atau ukuran, serta mengubah kecepatan atau arah jika benda sedang bergerak. Tegangan ini timbul sebagai akibat dari beban atau gaya yang datang dari luar benda atau biasa disebut gaya atau beban eksternal (*external stress*). Dalam hal ini, beban anak SD tersebut

merupakan beban eksternal. Di saat yang bersamaan, papan akan merespon dan mencoba mengimbangi gaya dari luar tadi dengan cara menghasilkan gaya dari dalam kayu atau disebut gaya atau beban internal (*internal stress*). Di Indonesia, tegangan biasanya dinyatakan dalam kg/cm^2 (kilogram per centimeter persegi).

Selanjutnya, tegangan internal yang terjadi mengakibatkan perubahan bentuk atau ukuran kayu. Pada jembatan papan di atas, upaya papan dalam mengimbangi gaya eksternal akan diikuti dengan perubahan bentuk seperti pelengkungan, pemampatan dan pemanjangan papan. Namun, pelengkungan atau defleksi merupakan titik perhatian utama dalam kasus balok lentur. Pada kasus yang lain, balok yang dijadikan sebagai tiang penopang, di mana beban eksternal terdistribusi pada permukaan aksial tiang, akan mengalami pemanpatan atau pemendekan yang disebut deformasi. Perubahan panjang per unit panjang dalam arah tekanan disebut regangan atau *strain*. Karena regangan dinyatakan dalam satuan panjang dibagi panjang maka regangan tidak memiliki satuan.

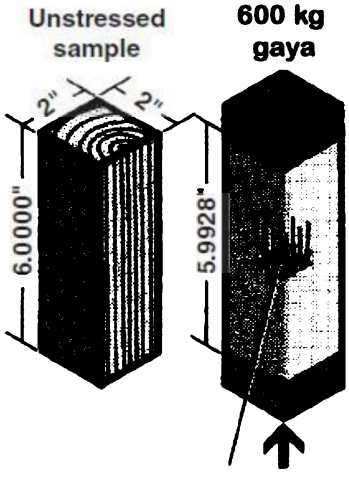
Pada balok yang mengalami beban tekanan atau tarikan, besarnya tegangan dan regangan dapat dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{1}$$

di mana: σ adalah tegangan (kg/cm2), P adalah beban (kg), dan A adalah luas penampang (cm^2)

$$\varepsilon = \frac{\Delta_L}{L} \tag{2}$$

di mana: ε adalah regangan, Δ_L adalah deformasi atau perubahan bentuk (cm), dan L adalah panjang mula-mula (cm).



Gambar 8.1. Gambar balok tekan sejajar serat (Bowyer *et al.* 2003)

Contoh 1

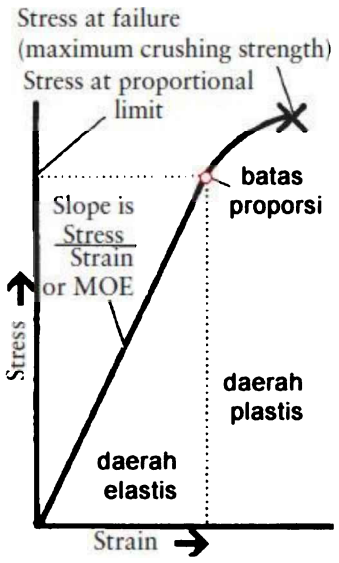
Jika kayu berukuran 2 inci x 2 inci x 6 inci, seperti pada Gambar 1, mengalami tekanan sebesar 600 kg dan mengalami pemendekan menjadi 5,9928 inci, maka besarya tegangan dan regangan adalah sebagai berikut: (digunakan nilai konversi 1 inci adalah 2,54 cm)

$$\sigma = \frac{600 \text{ kg}}{5{,}08 \text{ cm x } 5{,}08 \text{ cm}} = \frac{600 \text{ kg}}{25{,}8064\ cm^2} = 23{,}25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varepsilon = \frac{15{,}24\ cm - 15{,}221712\ cm}{15\ cm} = \frac{0{,}018\ cm}{15\ cm} = 0{,}0012\ cm/cm$$

Berdasarkan contoh tersebut dapat dilihat, jika beban sebesar 600 kg dikenakan pada kayu tekan, maka beban tersebut akan terdistribusi ke seluruh permukaan kayu yang terkena beban (25,8064 cm^2) dengan besar tegangan 23,25 kg tiap luasan 1 cm^2. Kejadian ini menyebabkan kayu mengalami perubahan dimensi atau pemendekan sebesar 0,0012 cm tiap satu centimeternya.

Apabila besar beban yang diberikan dinaikkan, maka kenaikan tersebut akan diikuti dengan perubahan tegangan dan regangan yang sebanding besarnya sampai pada suatu batas tertentu yang disebut batas proporsi. Hubungan antara tegangan dan regangan adalah linear atau berupa garis lurus hingga batas proporsi, seperti pada Gambar 2. Setelah itu, perubahan tegangan terhadap regangan berbentuk parabolik. Sebelum batas proporsi, kayu akan bersifat elastis sehingga 69embal beban yang mengenainya dihilangkan, kayu akan 69embali pada bentuk semulanya tanpa ada kerusakan. Di bawah batas proporsi, perbandingan antara tegangan dan regangan, yaitu kemiringan garis (*slope*), merupakan nilai yang konstan yang disebut modulus elastisitas (MOE). Pada balok tekan atau tarik, perbandingan ini sering disebut dengan Modulus Young untuk membedakan dari MOE pengujan balok lentur. Nilai elastisitas pada Contoh 1 adalah 19.375 kg/cm^2.



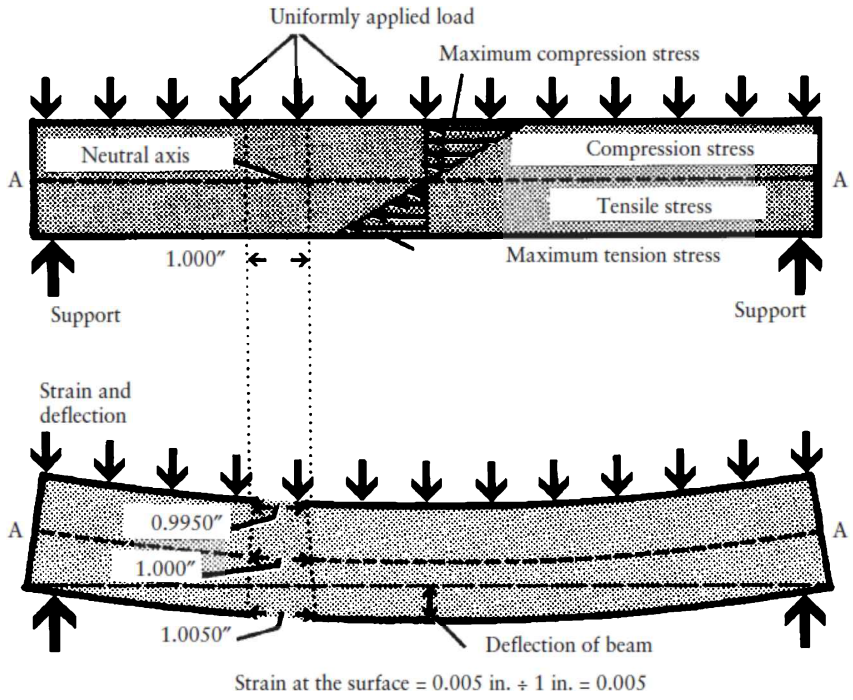
Gambar 8.2. Diagram hubungan regangan dan tegangan dalam uji tekan sejajar serat (Bowyer *et al.* 2003)

Situasi akan berbeda manakala beban yang diberikan telah melalui batas proporsi. Pada kondisi ini kayu telah bersifat plastis atau pada kayu telah terjadi perubahan bentuk yang permanen di mana kayu tidak dapat kembali lagi ke bentuk semula setelah beban dilepas. Jika beban terus dinaikkan, kayu akan mencapai tegangan maksimun dan setelahnya kemampuan kayu memikul beban akan mengalami penurunan drastis yang mengakibatkan kerusakan patah.

Konsep tegangan dan regangan cukup sederhana pada balok tekan atau balok tarik sebagaimana diuraikan di atas. Pada balok lentur, seperti contoh jembatan papan untuk selokan yang diiceritakan di atas, perhitungan tegangan dan regangan jauh lebih kompleks. Cerita jembatan papan untuk selokan adalah contoh balok lentur. Apabila dilalui, jembatan papan tersebut akan menghasilkan tegangan internal dalam bentuk tarik dan tekan secara bersamaan. Separuh papan bagian atas papan akan mengalami tegangan tekan (*compression stress*), dan separuh bagian bawah papan mengalami tegangan tarik (*tensile stress*), seperti dapat dilihat pada Gambar 3.

Tegangan maksimum terjadi pada permukaan atas dan bawah papan, dan berberangsur-angsur berkurang mendekati sumbu netral (*neutral axis*). Pada sumbu netral, sama sekali tidak ada tekanan maupun tarikan, atau nilai beban sama degan nol. Oleh karena itu, panjang sumbu netral tetap sama apabila diberi beban ataupun tidak, dengan kata lain sumbu netral tidak mengalami regangan. Sementara itu, baik permukaan atas maupun permukaan bawah papan akan mengaliami pemampatan dan pemanjangan yang mengakibatkan papan melengkung. Besar pelengkungan pada titik

tengah papan disebut defleksi. Besar defleksi tergantung pada besar beban, ukuran papan, dan nilai MOE kayu. Semakin tinggi MOE kayu maka semakin kecil deflkesi kayu.



Gambar 8.3. Tegangan dan tekanan pada balok lentur (Bowyer *et al.* 2003)

Nilai MOE kayu ditetukan dari pengujian keteguhan lentur (*static bending test*). Pengujian dilakukan dengan memberikan beban sedang (di bawah batas proporsi) pada papan dan mengukur defleksinya. Nilai MOE dihitung menggunakan rumus berikut:

$$MOE = \frac{P \times L^3}{48 \times I \times Y} \quad (3)$$

di mana: MOE adalah modulus elastisitas (kg/cm^2); P adalah beban (kg); Y adalah defleksi pada titik tengah papan akibat dari P (cm); L adalah panjang bentang (cm); I adalah momem inersia (cm^4), untuk ukuran balok letur persegi empat momen inersianya adalah (lebar x tinggi^3)/12.

Berdasarkan momen inersia untuk balok persegi panjang, maka rumus MOE untuk dapat juga ditulis seperti berikut:

$$MOE = \frac{P \times L^3}{4 \times Y \times l \times t^3} \quad (4)$$

di mana: l adalah lebar (cm), dan t adalah tinggi (cm).

MOE adalah nilai indikator kekakuan kayu, bukan kekuatan kayu. Namun, ini hanya berlaku hingga batas proporsi. MOE kayu berkisar antara 35.000 kg/cm^2 sampai

196.000 kg/cm^2. Nilai MOE berfungsi untuk menduga besar defleksi yang akan terjadi dari kayu akibat beban yang diberikan di titik pusat balok lentur. Seorang perancang bangunan harus mampu menyeimbangkan MOE terhadap panjang bentang, beban yang harus ditahan, ukuran balok yang digunakan, dan defleksi yang dapat diterima.

Contoh 2

Suatu sampel kecil bebas cacat berukuran 2 cm x 2 cm x 30 cm disangga di kedua ujungnya degan panjang bentang 28 cm. Sampel tersebut dibebani di tengahnya dengan mesin universal testing machine (UTM) yang naik secara perlahan. Ketika beban mencapai 200 kg (di bawah batas proporsi), defleksi yang terjadi besarnya 0,66 cm. MOE dapat dihitung dengan cara berikut:

$$MOE=\frac{P\times L^3}{4\times Y\times l\times t^3}=\frac{1}{4}\times\frac{200\,kg\times(28\,cm)^3}{4\times0{,}66\,cm\times2\,cm\times(2\,cm)^3}=103.939\,kg/cm^2$$

Contoh 3:

Misalkan sepotong kayu, berukuran 7 cm x 7 cm dengan MOE sama dengan Contoh 2, harus diletakkan di antara dua balok atap rumah yang berrjarak 100 cm. Jika di atas kayu tersebut dimaksudkan untuk menopang barang seberat 300 kg, maka berapa besar defleksi yang kan terjadi?

$$Y=\frac{P\times L^3}{4\times MOE\times l\times t^3}=\frac{1}{4}\times\frac{300\,kg\times(100\,cm)^3}{4\times103.939kg/cm^2\times7\,cm\times(7\,cm)^3}=0{,}3\,cm$$

Keteguhan lentur untuk kayu biasaya disebut dengan istlah modulus patah (MOR) yang dihitung dari beban maksimum dalam cara pegujian yang sama dengan untuk menentukan MOE. Nilai MOR dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$MOR = 1{,}5\times\frac{P\times L}{l\times t^2} \qquad (5)$$

di mana: MOR adalah modulus patah (kg/cm^2); P adalah beban (kg); L adalah panjang bentang (cm); l adalah lebar (cm); dan t adalah tinggi (cm).

Selain untuk menghitung MOR, persamaan (5) juga dapat digunakan untuk menghitung tegangan di bawah batas proporsi. Misalkan, beban P adalah beban di di bawah batas proporsi maka hasil dari perhitungan menggunakan rumus (5) adalah besarnya tegangan pada permukaan balok dan bukan MOR.

Contoh 4:

Sampel pada Contoh 2 dibebani sampai patah dalam pengujian dan diperoleh beban maksimumnya adalah 500 kg, maka MOR dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$MOR = 1{,}5 \times \frac{\mathrm{P} \times \mathrm{L}}{l \times t^2} = 1{,}5 \times \frac{400\ \mathrm{kg} \times 28\ \mathrm{cm}}{2\ cm \times (2\ cm)^2} = 2.100\ kg/cm^2$$

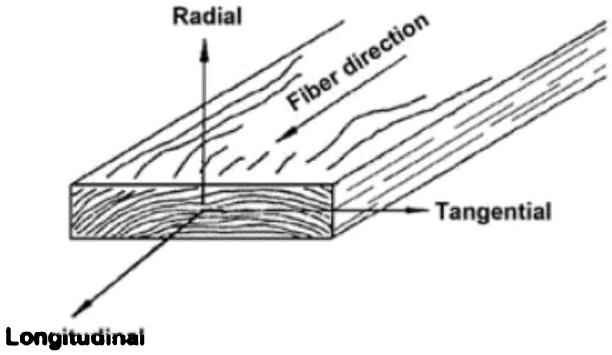
Contoh 5:

Jika sekarang diingikan menentukan beban jangka pendek yang kemungkinan membuat contoh uji pada Contoh 3 menjadi patah, maka diperkirakan bebannya adalah sebagai berikut:

$$\mathrm{P} = \frac{\mathrm{MOR} \times l \times t^2}{1{,}5 \times L} = \frac{2.100\ kg/cm^2 \times 7\ cm \times (7\ cm)^2}{1{,}5 \times 100\ cm} = 4.800\ kg$$

C. Sifat Anisotropik Kayu

Kayu dikenal memiliki sifat yang berbeda-beda dari ketiga arah sumbunya, yakni longitunal, radial, dan tangensial yang disebut anisotropik, lihat Gambar 4. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh orientasi struktur sel kayu, seperti serat, jari-jari, trakeid ataupun sel parenkm. Ia berbeda dengan bahan lain seperti logam plastik dan produk dari semen yang bersifat isotropik. Meskipun kekuatan dan sifat-sifat elastis kayu berbeda pada tiga arahnya, namun sifat dalam arah radial dan tangensial tidak dibedakan. Hal tersebut dikarenakan tidak mungkin untuk memperkirakan arah radial-tangensial kayu ketika sudah dalam bentuk sortimen kayu. Selain itu, perbedaan sifat mekanis kayu pada arah radial-tangensial biasanya sangat kecil sehingga seringkali diabaikan. Perbedaan kekuatan signifikan justru terjadi pada arah aksial-transversal, di mana kekuatan arah aksial lebih besar dibandingkan dengan transversal.

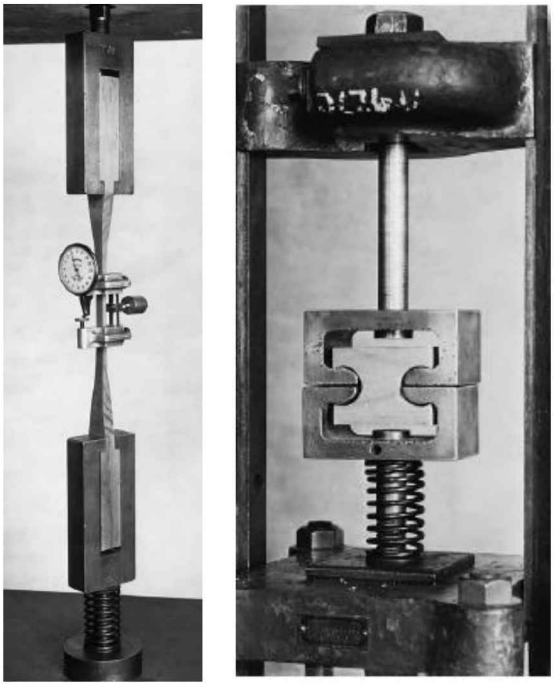


Gambar 8.4. Tiga sumbu simetri kayu (Bowyer *et al.* 2003)

8.3.3 Macam-macam Sifat Mekanis

1. Kekuatan tarik (*tensile strength*)

Kekuatan tarik adalah kemampuan kayu untuk menahan beban yang berusaha menarik atau menanjangkan ukuran kayu. Beban eksteral yang terjadi menyebabkan bagian dalam kayu berusaha menahan beban tersebut dalam bentuk tegangan tarik. Oleh karena sifat kayu anisotropic, maka ada dua kekuata tarik yakni kekuatan tarik sejajar serat dan kekuatan tarik tegak lurus serat. Kekuatan tarik terbesar adalah pada arah aksial atau kekuatan tarik sejajar serat. Nilainya bisa mencapai 50 kali lebih tinggi dari kekuatan tarik tegak lurus serat.

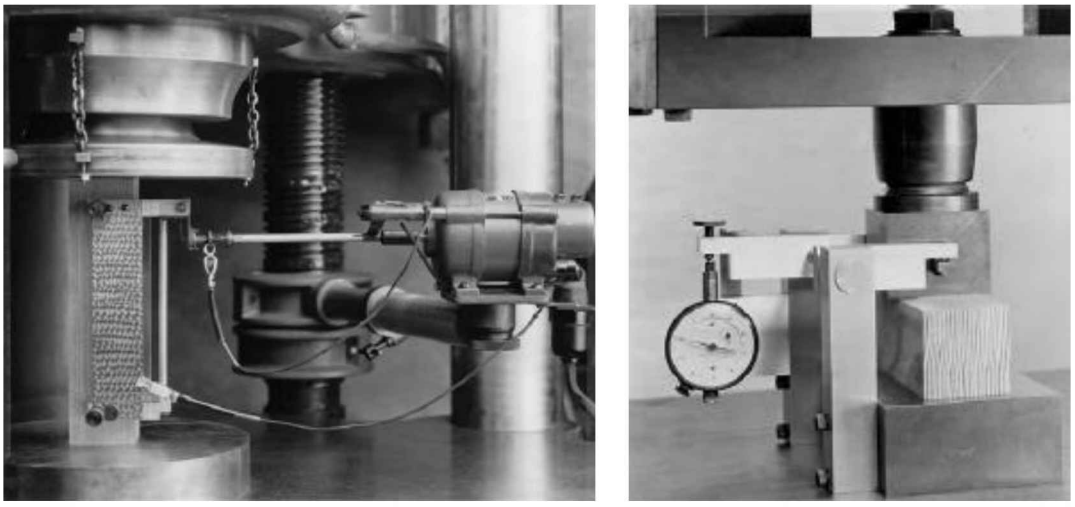


Gambar 8.5. Bentuk pengujian kekuatan tarik sejajar serat (kiri) dan tegak lurus serat (kanan) (ASTM, 2000)

2. Kekuatan tekan (*compression strength*)

Kekuatan tekan adalah kemampuan kayu menaan beban yang berusaha memampatkan atau memperkecil ukuran kayu. Seperti halnya keketuan tarik, kekuatan tekan juga dibedakan menjadi dua, yakni kekuatan tekan sejajar serta dan kekuatan tekan tegak lurus serat. Untuk penentuan nilai kekuatan tekan tegak lurus serat, kekuatan yang diambil bukan pada nilai maksimum tapi tegangan pada batas proporsi. Hal ini dilakukan karena pada pengujian tekan tegak lurus serat, dinding sel akan mengalami pemadatan di bagian atas dan bawah sampel. Pemadatan ini menyebabkan kekuatan kayu menjadi meninkat lagi, namun sebenarya kayu telah mengalami

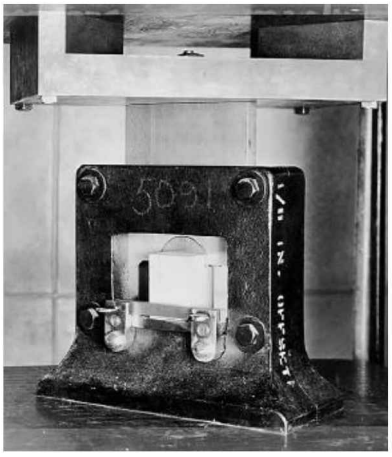
kerusakan. Kekuatan tekan sejajar serat 15 kali lebih besar dibandingkan degan tegak lurus serat.



Gambar 8.6. Bentuk pengujian kekuatan tekan sejajar serat (kiri) dan tegak lurus serat (kanan) (ASTM, 2000)

3. Kekuatan geser (*shearing strength*)

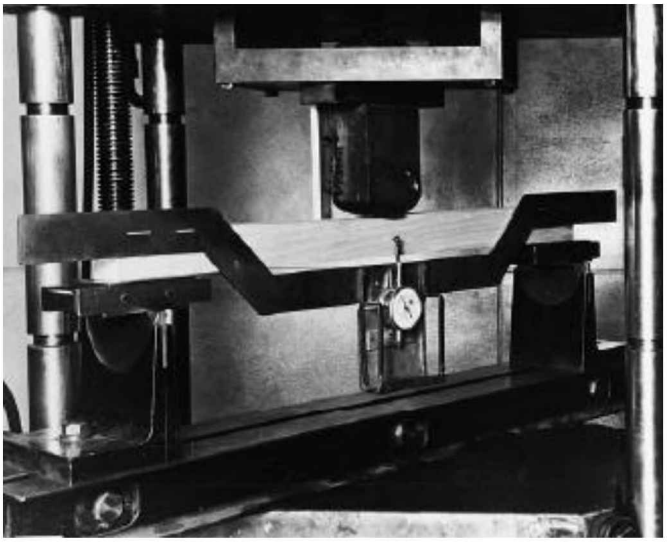
Kekuatan geser adalah kekuatan kayu menahan beban yang berusaha menggeser satu bagian dengan bagian lain dari kayu yang sama. Ada empat geseran yang mungkin terjadi, yaitu geser sejajar serat, geser tegak lurus serat, geser miring serat, dan geser antar serat. Untuk geser sejajar serat, dua bidang dalam satu kayu saling bergerak pada arah longitudinal yang berlawanan. Geser miring serat hampir serupa dengan sejajar serat, bedanya bidang geser miring serat mengikuti arah miring serat. Jika bidang geser sejajar sejajar serat dan miring serat bergerak pada arah longitudinal, maka bidang geser antar serat juga disertai gerak berlawanan pada arah transversal. Sementara itu, geser tegak lurus serat seolah-olah memotong serat kayu. Dengan demikian, jika diurut kekuatan geser dari yang terbesar hingga yang terkecil berturut-turut adalah geser tegak lurus serat, geser miring serat, geser sejajar serat dan yang terkecil adalah geser antar serat.



Gambar 8.7. Bentuk pengujian kekuatan geser sejajar serat (ASTM, 2000)

4. Kekuatan lentur (*Bending strength*)

Apabila balok disangga pada kedua ujungnya dan ia memikul serta menahan beban tegak lurus arah panjangya, maka balok tersebut akan mengalami tegangan dan perubahan bentuk. Ada tiga gaya yang bekerja pada saat balok diberi beban yaitu, tarik, tekan dan geser. Tegangan tekan terjadi pada permukan atas balok dan tarik pada permukaan bawah, sedangkan geser horisontal akan terjadi mulai dari permukaan atas sampai permukaan bawah balok, di mana serat kayu akan saling bergeser pada arah horizontal satu sama lainnya.



Gambar 8.8. Bentuk pengujian lentur (ASTM, 2000)

Pada pengujian lentur diperoleh nilai modulus patah (MOR) dan modulus elastisitas (MOE) dari perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MOR = 1{,}5 \times \frac{P \times L}{l \times t^2} \quad (1)$$

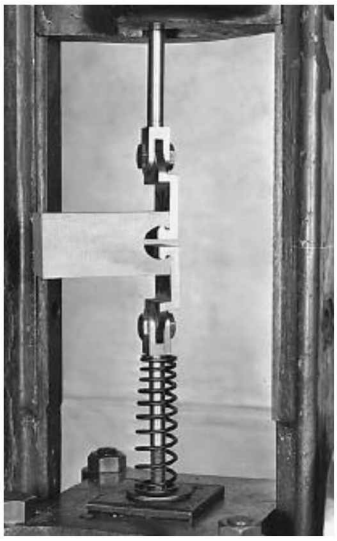
di mana: MOR adalah modulus patah (kg/cm^2); P adalah beban (kg); L adalah panjang bentang (cm); l adalah lebar (cm); dan t adalah tinggi (cm).

$$MOE = \frac{P \times L^3}{4 \times Y \times l \times t^3} \quad (2)$$

di mana: MOE adalah modulus elastisitas (kg/cm^2); P adalah beban (kg); Y adalah defleksi pada titik tengah papan akibat dari P (cm); L adalah panjang bentang (cm); l adalah lebar (cm); dan t adalah tinggi (cm).

5. Ketahahan belah (*cleavage resistance*)

Keteguhan belah merupakan ketahahan kayu terbadap beban yang berusaha memisahkan antara bagian yang satu dengan bagian yang lain atau membelah kayu. Contoh belahan pada kayu adalah kayu yang dikampak. Kayu yang memiliki ketahanan belah yang rendah atau muda dibelah akan memudahkan dalam pemenuhan keperluan kayu bakar. Namun, tidak baik jika kayu tersebut akan disambung dengan alat sambung paku karena ia akan juga terbelah ketika dipaku. Pada pengujian ketahanan belah, contoh uji ditarik pada salah satu ujungnya saja. Nilai hasil pengujian dalam kg/cm atau satuan beban per satan panjang permukaan belahan.



Gambar 8.9. Bentuk pengujian belah (ASTM, 2000)

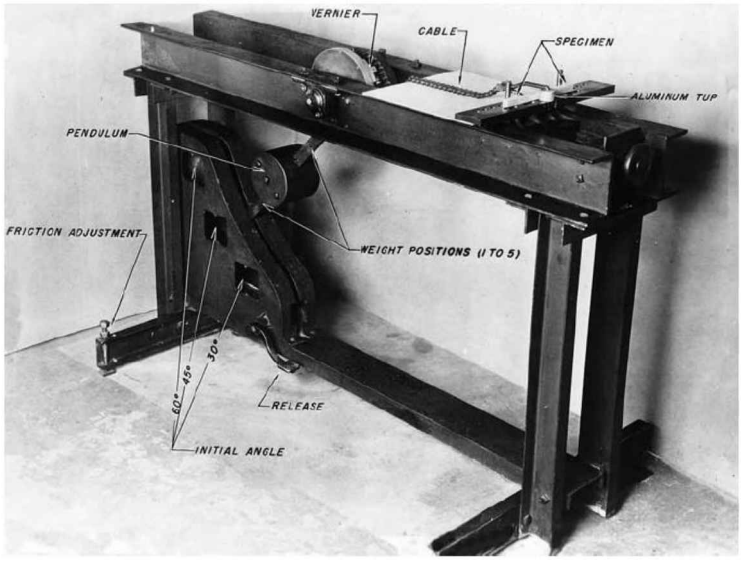
6. Keuletan (*toughness*)

Keuletan kayu dapat digambarkan sebagai sifat kayu yang sulit pecah atau tidak mudah rusak meskipun telah diberikan beban yang mendekati beban maksimum. Lawan dari sifat ulet ini adalah sifat rapuh atau regas (*brittleness*). Kayu rapuh akan patah secara tiba-tiba bila beban sudah mencapai maksimum, sementara kayu ulet akan

memberikan tanda manakala ia telah mengalami kerusakan. Keuletan dihitung dengan persaman berikut:

$$T = w \times L \times (\cos A_2 - \cos A_1) \quad (2)$$

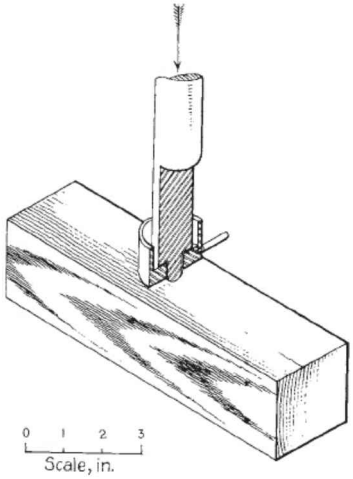
di mana: T adalah keuletan (cm kg); w adalah berat bandul (kg); L adalah jarak dari pusat sumbu pendukung ke pusta gravitasi bandul (cm); A_1 adalah sudut awal (derajat); A2 adalah sudut akhir pendulum setelah kerusakan contoh uji (derajat).



Gambar 8.10. Bentuk pengujian keuletan (ASTM, 2000)

7. Kekerasan (*hardness*)

Kekerasan adalah ketahanan kayu teradap tekanan atau pijitan pada permukaan kayu. Pengujian standar untuk sifat kekerasan dilakukan dengan pembenaman setengah bola baja berdiamter 0,444 inci ke dalam permukaan kayu. Nilai kekerasan adalah beban yang diperoleh ketika seluruh bagian setengah bola baja tersebut masuk kedalam kayu.



Gambar 8.11. Ilustrasi pengujian kekerasan kayu (ASTM, 2000)

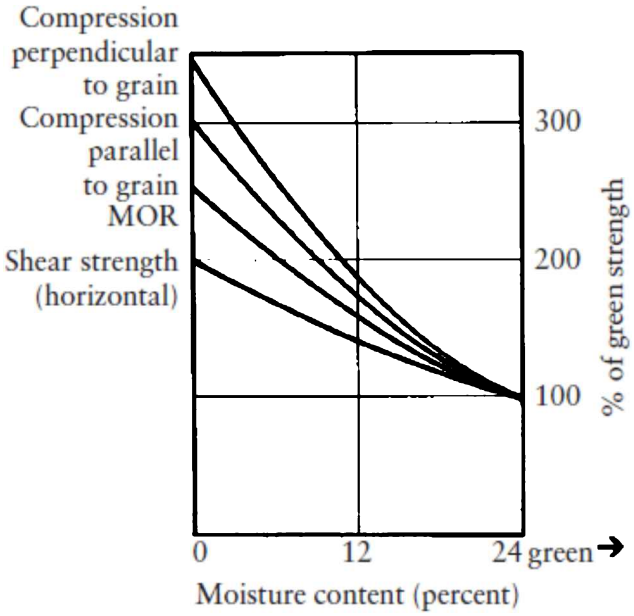
8.3.4 Sifat dasar kayu dan factor lain yang mempengaruhi kekuatan kayu

1. Berat jenis

Kekuatan kayu berhubungan berat dengan berat jenis. Secara umum, semakin tinggi berat jenis, maka semakin kuat kayu tersebut. Kayu dengan berat jenis tinggi terdeskripsi memiliki dinding sel yang tebal. Beban yang mengenai kayu akan dipikul oleh dinding sel ini, sehingga makin banyak proporsi dinding sel kayu per satuan volume maka makin kuat pula kayu tersebut menopang beban.

2. Kadar air

Perubahan kandungan air kayu di bawah titik jenis serat (TJS) berpengaruh terhadap kekuatan kayu di mana kekuatan kayu cenderung mengalami peningkatan dengan menurunnya kadar air (Gambar 8). Ada dua kemungkinan peningkatan kekuatan tersebut terjadi, pertama, air terikat yang keluar dari dinding sel menyebabkan kerapatan dinding sel meningkat akibat dari molekul-molekul rantai panjang bergerak saling mendekat dan menjadi terikat lebih kuat. Kedua, kehilangan kadar air di bawah TJS menyebabkan kayu menyusut. Penyusutan ini meningkatkan proposi dinding sel per satuan volume sehingga kemampuan menahan bebannya juga mengalami peningkatan.



Gambar 8.12. Hubungan kekuatan kayu dengan kadar air

3. Zat Ekstraktif

Keberadaan zat ekstraktif pada kayu sebenarnya tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap kekuatan kayu. Ada sedikit penurunan kekuatan kayu apabila zat

ekstraktif dikeluarkan, diantarya adalah tekan sejajar serat dan MOR. Pengaruh tersebut pun tergantung pada banyaknya zat ekstraktif dan kadar air kayu tersebut.

4. Kayu reaksi

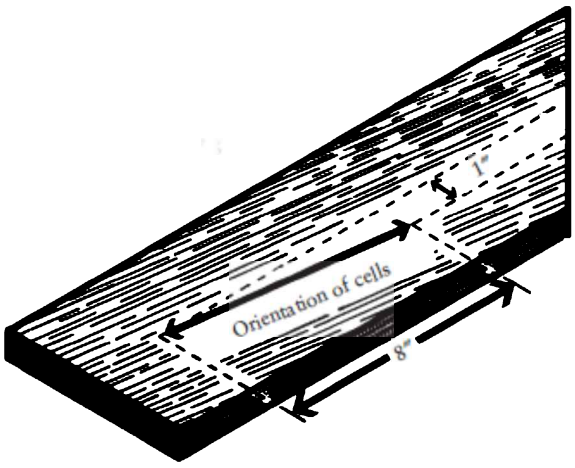
Kayu reaksi merupakan kayu tidak normal pada pohon sebagai respon atau rekasi terhadap keadaan lingkungan yang juga tidak normal. Pada kayu daun jarum, kayu reaksi disebut kayu tekan, sedangkan pada kayu daun lebar disebut kayu tarik. Kebanyakan kayu reaksi memiliki berat jenis yang lebih besar dibanding kayu normalnya. Namun, jika dibandingkan dengan kayu normal dengan berat jeis yang sebanding, maka kekuatan kayu reaksi lebih kecil kecuali kekutaan tekan sejajar serat pada kayu tekan dan ketahanan pukul pada kayu tarik.

5. Mata Kayu

Pengaruh mata kayu ada kekuatan kayu sebernarnya bergantung pada ukuran, lokasi dan bentuk dari mata kayu. Namun secara umum, mata kayu ini dapat dianggap sebagai lubang pada kayu sehingga dapat mengurangi kekuatan kayu. Biasanya, untuk mengurangi pengaruh mata kayu pada balok lentur, posisi mata kayu diletakkan pada bagian permukaan atas yang mengalami tegangan tekan.

6. Kemiringan serat

Kemiringan serat dinyatakan dalam inci yaitu satuan panjang dengan penyimpangan satu inci dalam serat tersebut. Pada Gambar 9 menunjukkan contoh kemiringan 1 inci dalam 8 inci panjang dari papan. Pengaruh miring serat terhadap kekuatan kayu adalah sebagai berikut: miring serat lebih besar dari 1:25 akan mereduksi kekuatan tarik sejajar serat; lebih besar dari 1:10 akan mereduksi kekuatan tekan sejajar serat; dan miring serat tidak banyak mempengaruhi kekuata geser, malah kadang meningkatkan kekuatan geser sejajar serat kayu.

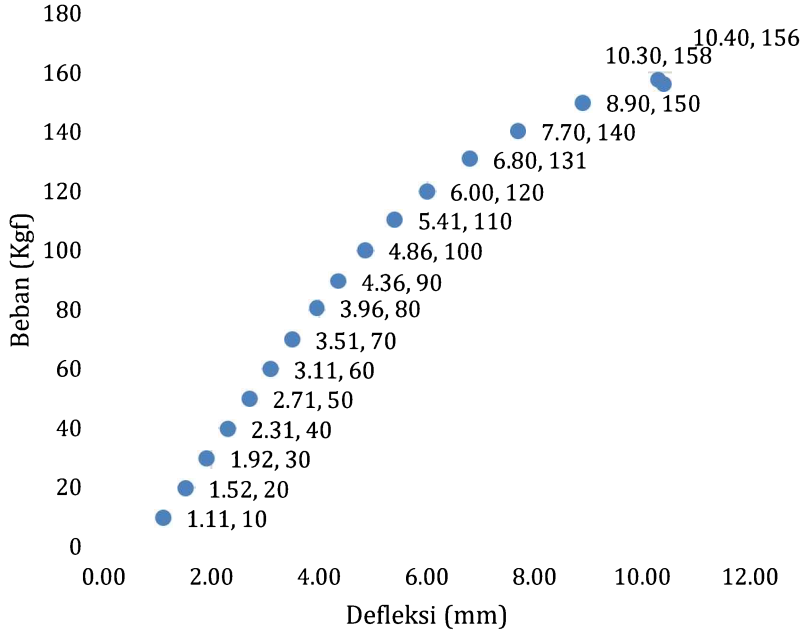


Gambar 8.13. Kemiringan serat 1 inci dalam 8 inci

8.4 Penugasan

Setelah menutaskan materi di atas, peserta mata kuliah harus dapat menjawab tiga pertanyaan berikut ini dengan cepat dan tepat dalam waktu 10 menit.

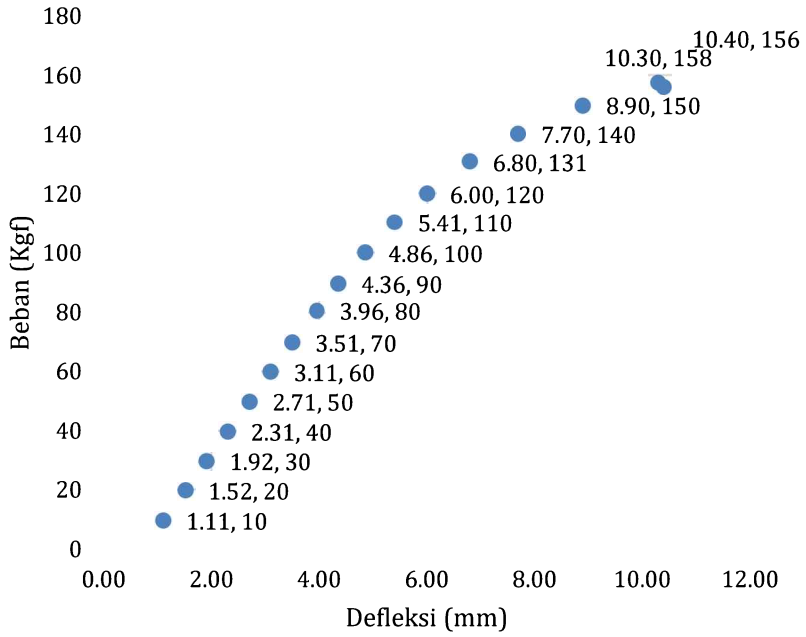
1. Besar tegangan yang terjadi pada sampel tekan sejajar serat berukurn 2 cm x 2 cm x 6 cm ketika mendapatkan beban sebesar 2.600 kg adalah …
2. Nilai elastisitas pada sampel Soal 1 jika kayu mengalami pemampatan sehingga panjangnya menjadi 5,994 cm adalah …
3. Apakah tepat, jika beban 120 kg di dalam kurva hasil pengujian lentur di bawah ini digunakan untuk menentukan nilai MOE? Jelaskan!



Gambar 8.14. Kurva hubungan beban dan defleksi pada pengujian lentur

4. Lanjutkan kegiatan dengan mengumpulkan sifat mekanis 5 jenis kayu. Jika saya membutuhkan kayu papan berukuran 20 cm x 3 cm dengan panjang bentang 1 meter. Tepat di tengah papan tersebut, saya ingin meletakan beberapa toolbox berisi perkakas dengan berat 50 kg. Apabila defleksi paling besar yang saya harapkan adalah1 mm, apakah ada diantara kayu tersebut yang saya pakai? Jelaskan!
5. Apakah ada peningkatan kekuatan kayu sama, jika kayu kadar air kayu mengalami penurunan dari 65% ke 45%? Jelaskan!

6. Berdasarkan kurva hasil pengujian lentur di bawah ini, hitung nilai MOE dan MORnya jika ukuran sampelnya adalah 2 cm x 2 cm x 30 cm.



Gambar 8.15. Kurva hubungan beban dan defleksi pada pengujian lentur

7. Kumpulkan sifat mekanis paling sedikit 10 jenis kayu beserta dua sifat dasar yang lain (salah satunya adalah berat jenis). Lakukan analisis hubungan kekuatan kayu tersebut dengan dua sifat dasar yang lain tersebut.

8.5 Strategi dalam merespon penugasan

Agar dapat mengerjakan penugasan dengan tepat, maka sebaiknya mengerjakan contoh-contoh yang diberikan secara berulang-ulang. Peserta kuliah juga dapat menanyakan secara langsung pada dosen pengampu mata kuliah apabila ada hal yang tidak dipahami dalam contoh-contoh soal tersebut.

8.6 Daftar Pustaka

ASTM. 2000. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber (D 143-94). Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

Bowyer JL, Shmulsky R, dan Haygreen JG. 2003. Forest Products and Wood Science. An Intoduction. Fourth Edition. Iowa State Press, United State of America.

Forest Products Laboratory. 2010. Wood handbook—Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S.